

Ist Ultraschall ein ergänzendes Assessment für Entscheide im physiotherapeutischen Behandlungsverlauf einer Achillessehnenruptur

Lachappelle, Patrice
s08751372

Departement: Gesundheit
Institut für Physiotherapie

Studienjahr: PT17

Eingereicht am: 23.04.20

Begleitende Lehrperson: Dr. Jeannette Saner-
Bissig

**Bachelorarbeit
Physiotherapie**

Inhaltsverzeichnis

Anmerkungen	5
Abstract (deutsch).....	6
Abstract (english).....	7
1 Einleitung.....	8
1.1 Darstellung des Themas	8
1.2 Problemstellung.....	9
1.3 Zielsetzung	10
1.4 Fragestellung.....	10
1.5 Abgrenzung	11
2 Methodik	12
2.1 Angaben zur Patientin und ihrer medizinischen Nachsorge.....	12
2.2 Literaturrecherche	14
2.3 Datenerhebung.....	14
2.4 Datenauswahl.....	15
3 Theoretischer Hintergrund	16
3.1 Anatomie der Achillessehne	16
3.1.1 Grundlegender anatomischer Aufbau der Achillessehne.....	16
3.1.2 Der Sehnenaufbau in Bezug zur Belastung	19
3.2 Veränderungen der Achillessehne	23
3.2.1 Normale Adaptation auf Belastung, Entlastung und Alter	23
3.2.2 Pathophysiologie	24
3.3 Arten und Assessments von Achillessehnenrupturen	25
3.4 Wundheilungsphasen und Heilungsverlauf einer Sehne.....	26
3.5 Konservative Therapie nach Achillessehnenruptur	28
3.5.1 Konservativer Verlauf.....	28

3.5.2	Vorteile, Nachteile und Therapieindikationen der konservativen Behandlung	30
3.5.3	Physiotherapeutische Nachbehandlung	31
3.5.4	Vergleiche der Konservativen mit der operativen Therapie	32
3.6	Bildgebende Beurteilung der Sehne in der Sonographie	34
3.6.1	Definition	34
3.6.2	Funktion des Graustufen-Ultraschall	34
3.6.3	Praktische Anwendung des Graustufen-Ultraschall bei Achillessehnenruptur	36
3.6.4	Beispiele gesunder Sehnen und Sehnenpathologien, die im Graustufen-Ultraschall sichtbar sind	37
3.6.5	Was soll beurteilt werden im Ultraschallbild	41
3.6.6	Rolle der Sonographie bei Achillessehnenrupturen	41
4	Resultate	44
4.1	Deskriptive Beschreibung der Longitudinalschnitte nach 6 bis 24 Wochen	44
4.2	Vergleich der physiotherapeutischen Nachbehandlung des Fallbeispiels mit dem exemplarischen Nachbehandlungsschema	47
4.3	Vergleich des physiotherapeutischen Verlaufes mit der Bildgebung	48
5	Diskussion	49
5.1	Interpretation der ausgewählten Bildsequenzen bezüglich Wundheilungsphasen	49
5.2	Interpretation des physiotherapeutischen Verlaufes mit dem exemplarischen Verlauf und der Bildgebung	51
5.3	Vergleich mit den Ergebnissen in der Literatur	53
5.4	Limitationen	54
6	Theorie-Praxis Transfer	55
7	Ausblick	56

8	Schlussfolgerung	57
	Literaturverzeichnis	58
	Zusatzverzeichnisse	65
	Abbildungsverzeichnis	65
	Tabellenverzeichnis	66
	Wortdeklaration	67
9	Danksagung	68
10	Eigenständigkeitserklärung	69
	Anhang	70
	A) Glossar	70
	B) Methodik	72
	C) Physiotherapeutischer Behandlungsverlauf	75
	D) Zelluläre Komponenten einer Sehne	85
	E) Detaillierte Beschreibung der intrinsischen und extrinsischen Wundheilung einer Sehne	87

Anmerkungen

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Bachelorstudiums in Physiotherapie verfasst. Sie richtet sich an interessierte Fachpersonen. Relevante Fachbegriffe, die nicht schon im Text erläutert sind, werden bei ihrer ersten Erwähnung *kursiv* hervorgehoben und im angehängten Glossar erklärt.

Abstract (deutsch)

Hintergrund: Die Achillessehnenruptur ist eine der häufigsten Rupturen menschlicher Sehnen. Mit steigender Inzidenz ist sie ein wachsendes Thema in der Physiotherapie. Neben klinischen Tests hat sich die Sonographie mit dem Graustufen-Ultraschall zur Diagnosestellung und dem Therapieentscheid etabliert. Nur wenige Studien begleiteten bisher den Heilungsverlauf sonographisch. Diese Arbeit beabsichtigt, nach Aufarbeitung der aktuellen Literatur über die konservative Therapie nach Achillessehnenruptur, der Wundheilung der Sehnen und ihrer Darstellbarkeit im Graustufen-Ultraschall, das Potential eines sonographisch begleiteten Heilungsverlaufes für die Physiotherapie anhand einer Einzelfallstudie abzuschätzen.

Methode: Der Analyse dient eine Literatursuche, der physiotherapeutische Verlauf und sonographische Daten der ersten 6 Monaten nach dem Unfall. Longitudinale Bildsequenzen 6, 8, 14, 19 und 24 Wochen post-trauma wurden mittels Vier-Augenkontrolle ausgewertet und vor dem Hintergrund der Literatur zur Sehnenheilung und dem physiotherapeutischen Verlauf analysiert.

Ergebnisse: Der Wundheilungsverlauf im Graustufen-Ultraschall kann sichtbar gemacht werden, ist mit einer Progression im Therapeutischen- und im Wundheilungsverlauf im Einklang und ist womöglich durch Belastung- und Entlastungen beeinflussbar.

Schlussfolgerung: Die diagnostische Sonographie hat das Potential sich zukünftig zu einem ergänzenden Tool in der Physiotherapie zu entwickeln. Zur Verifizierung der Ergebnisse müssen jedoch weitere Studien an grösseren Populationen durchgeführt werden.

Keywords: Achillessehnenruptur, Ultraschall, Wundheilung der Sehne

Abstract (english)

Background: The Achilles tendon rupture is considered one of the most common ruptures of human tendons and is with increasing incidence a growing topic in physiotherapy. In addition to clinical tests, sonography with grayscale-ultrasound has established as the method of choice for diagnosis and therapy decisions. However, only a few studies have so far accompanied the healing process sonographically. Therefore, after reviewing the current literature on conservative therapy after Achilles tendon rupture, wound healing of the tendons and their representability in grayscale-ultrasound, this thesis intends to estimate the potential of a sonographically accompanied healing process for physiotherapy based on a single case study.

Methods: The analysis is based on a literature search, the physiotherapeutic course and sonographic data of the first 6 months after the accident. Longitudinal image sequences at 6, 8, 14, 19 und 24 weeks post-trauma were evaluated by Four-eye-control and compared with the literature of the tendon healing and the physiotherapeutic course.

Results: The course of the wound healing in grayscale-ultrasound can be visualized, is in accordance with a progression in the therapeutic and healing process and may be influenced by increased and decreased load application.

Conclusion: Diagnostic sonography has the potential to become a complementary tool in future physiotherapy assessments. To verify the results found, however further studies on larger populations are needed.

Keywords: Achilles tendon rupture, tendon healing, sonography, ultrasound

1 Einleitung

Im Rahmen einer Teilstudie eines Forschungsprojektes der Zürcher Fachhochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) wurde eine Probandin während der physiotherapeutischen Therapie ihrer Achillessehnenruptur begleitet. Diese Teilstudie beinhaltete unter anderem Langzeitbeobachtungen mittels Ultraschalluntersuchungen nach konservativer Therapie mit dem *VACOped* (OPED AG, Steinhausen, Schweiz) und *Künzlischuh* (Ortho Rehab Total, Künzli SwissSchuh AG, Windisch, Schweiz). Die bildgebenden Daten aus dieser Studie und der konservative Verlauf bilden die Grundlage für die vorliegende Bachelorarbeit.

Das Kapitel 1 gibt einen kurzen Überblick über die Darstellung der Thematik.

Darauffolgend wird die Problemstellung erläutert. Im Anschluss werden die Zielsetzung und die Fragestellung dieser Arbeit verdeutlicht und eine Abgrenzung gezogen.

1.1 Darstellung des Themas

Die Achillessehnenruptur gilt als eine der häufigsten Sehnenrupturen (Leppilahti & Orava, 1998). In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Zahl der Achillessehnenrupturen stetig zugenommen. Studien aus Amerika zeigen eine mehr als dreifache Zunahme der Inzidenz in Amerika im Zeitraum von 2005 bis 2016 (Erickson et al., 2014; Lemme, Li, DeFroda, Kleiner & Owens, 2018). Quack, Tingart, Grifka und Götz (2013) berichten von einer Inzidenz von 10/100'000 Einwohner pro Jahr bei dieser Ruptur. Für die Schweiz wurde eine Inzidenz von 20-40 Risse/100'000 Personen ermittelt (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019).

Eine Häufung der Ereignisse ist zwischen dem 30. bis 50. Lebensjahr zu erwarten mit, einem Häufigkeitsgipfel um das 40. Lebensjahr (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019; Quack et al., 2013). Wobei in Amerika, zwischen 2012 und 2016, diese Häufung bei Männern etwas früher (20.-39. Lebensjahr) als bei Frauen (40.-59. Lebensjahr) stattfand und Männer dieses Alters am meisten betroffen waren (Lemme et al., 2018). Das Verhältnis von erlittenen Rupturen bei Männern versus Frauen liegt abhängig von der Quelle bei 3:1 (Lemme et al., 2018), 5:1 (Quack et al., 2013) und 5 - 10:1 (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). In etwa 80% der Unfälle ereignet sich die Ruptur während freizeitlichen Aktivitäten, vor allem bei Ball-, Sprung- und Laufsportarten (Lemme et al., 2018).

In Bezug auf die Behandlung erfreut sich der konservative Behandlungsansatz ausgeprägter Beliebtheit. So zeigt eine grossangelegte Studie der Medicare-Population in Amerika, im Zeitraum von 2005 bis 2011, mit etwa 2/3 konservativ versorgter Rupturen, einen Trend zur konservativen Nachbehandlung (Erikson et al., 2014). Durch ihren langjährigen Erfahrungswert empfiehlt auch das Inselspital im Institut für Physiotherapie (2019) fast allen ihren Patienten den konservativen Behandlungsverlauf bereits seit 1996.

Bereits bei der Diagnosestellung besteht ein Teil darin, die Verletzung per Ultraschall zu begutachten. Amlang & Zwipp (2006) sehen den Ultraschall als massgebenden Bestandteil für eine richtige Diagnosestellung und den Therapieverlauf. So können wichtige Informationen über die inneren Strukturen der Verletzung, wie zum Beispiel das Auseinanderklaffen der Rupturenden, offengelegt werden (Hofstätter, Schuh, Trnka & Willinger, 2017; Sattler & Sattler, 2016). In vielen physiotherapeutischen Praxen wird Ultraschall schon zu therapeutischen Zwecken genutzt. Im Vergleich mit anderen bildgebenden Verfahren ist Ultraschall kostengünstig (Amlang & Zwipp, 2006) und ohne grossen Aufwand direkt am Patienten nutzbar (Jenderka & Delorme, 2018). Er ist frei von ionisierender Strahlung (Jenderka & Delorme, 2018), langjährig erprobt und in der Schwangerschaft zur Diagnostik eingesetzt (Medizinisch Radiologisches Institut, 2019). Auf Grund dieser Faktoren bietet es sich an, den Behandlungs- und Heilungsprozess ganzheitlich durch Ultraschall zu begleiten.

1.2 Problemstellung

Für den physiotherapeutischen Verlauf einer Achillessehnenruptur wäre es hilfreich, auf ein bildgebendes Tool zurückgreifen zu können, welches Klarheit über die strukturellen Gegebenheiten während der Behandlung gibt. So könnte die physiotherapeutische Behandlung verbessert werden, indem strukturelle Veränderungen sichtbar gemacht würden. Konkret könnten die Wundheilungsphasen klarer bestimmt und somit dem Patienten oder der Patientin ein gezielterer Therapieaufbau ermöglicht werden. Gegebenenfalls könnten auch Überbelastungen oder erneute Entzündungen sichtbar gemacht werden.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, den theoretischen Hintergrund einer konservativen Therapie und die Theorien zur Wundheilung der Sehne aufzuarbeiten, sowie erste Erkenntnisse zum Einsatz von Ultraschall zur Überwachung des Behandlungsverlaufes während einer konservativen Behandlung zu gewinnen. Es soll gezeigt werden, wie sich die Sehne im Ultraschall darstellen lässt und die Anwendungsmöglichkeiten in der Physiotherapie abgeschätzt werden. Ebenfalls soll herausgefunden werden, ob zusätzliche Informationen durch den Einsatz von Graustufen-Ultraschall für den Behandlungsverlauf einer konservativen Achillessehnenruptur generiert werden können. Wenn ja, welche Parameter gemessen und welche zusätzlichen Informationen für die konservative Nachbehandlung in den ersten 6 Monaten relevant sein könnten, um diese Behandlung zu optimieren.

1.4 Fragestellung

Die Fragestellung dieser Arbeit lautet: „Ist diagnostischer Ultraschall ein ergänzendes Assessment für Entscheide im physiotherapeutischen Behandlungsverlauf einer Achillessehnenruptur?“

Aus dieser Fragestellung lassen sich, gestützt auf die Erkenntnisse aus den Kapiteln 1.1 und 1.2, weitere relevante Unterfragen und Hypothesen ableiten:

- Sind Veränderungen im Ultraschall ersichtlich? Wenn ja, welche?
Hypothese 1: Die Wundheilung ist im Graustufen-Ultraschall klar ersichtlich.
Verschiedene Zeitpunkte können den Wundheilungsphasen zugeordnet werden.
- Stimmen diese Veränderungen mit dem physiotherapeutischen Verlauf überein?
Hypothese 2: Belastungsaufbau und Belastungsreduktion sind im Graustufen-Ultraschall ersichtlich und können dem physiotherapeutischen Verlauf zugeordnet werden.
- Können diese Veränderungen während des physiotherapeutischen Assessments für Entscheide eingesetzt werden?
Hypothese 3: Der Graustufen-Ultraschall ist ein geeignetes Tool das Assessment in der Physiotherapie zu unterstützen.

1.5 Abgrenzung

Diese Bachelorarbeit orientiert sich eng am vorliegenden Fallbeispiel. Somit fokussiert sich diese Arbeit bei der Ruptur auf die akute Achillessehnenruptur, den konservativen Verlauf und die Wundheilung am Sehnen-Sehnen-Übergang. In der Bildgebung wird auf den normalen Graustufen-Ultraschall eingegangen. Chronische Achillessehnenrupturen, operative Verfahren nach Achillessehnenruptur und die Wundheilung am Muskel-Sehne oder Knochen-Sehnenübergang wird nicht behandelt. Des Weiteren werden bildgebende Verfahren wie Dopplersonographie, Elastosonographie oder Magnetresonanztomographie in dieser Arbeit nicht einbezogen.

2 Methodik

Die Methodik der vorliegenden Datenerhebung ist die einer explorativen Beobachtungsstudie (Case Study). Diese zielt darauf ab, erste Eindrücke und Ideen über die Problemstellung zu gewinnen, die Problematik der Anwendung aufzuzeigen und anhand der Theorie den Verlauf der gewonnenen Bilder zu erklären.

Im folgenden Kapitel wird das Fallbeispiel bezüglich Unfallursache, persönlichem Hintergrund und medizinischer Nachversorgung genauer erläutert. Anschliessend wird der Verlauf der Literaturrecherche, der Datenerhebung und deren Auswertung beschrieben.

2.1 Angaben zur Patientin und ihrer medizinischen Nachsorge

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Patientin um eine 48-jährige Frau mit moderatem sportlichem Anspruch und rheumatischer Grunderkrankung. Neben der Arbeit im Büro, betätigt sie sich vor allem im Haushalt.

Tabelle 1: Informationen zur Patientin

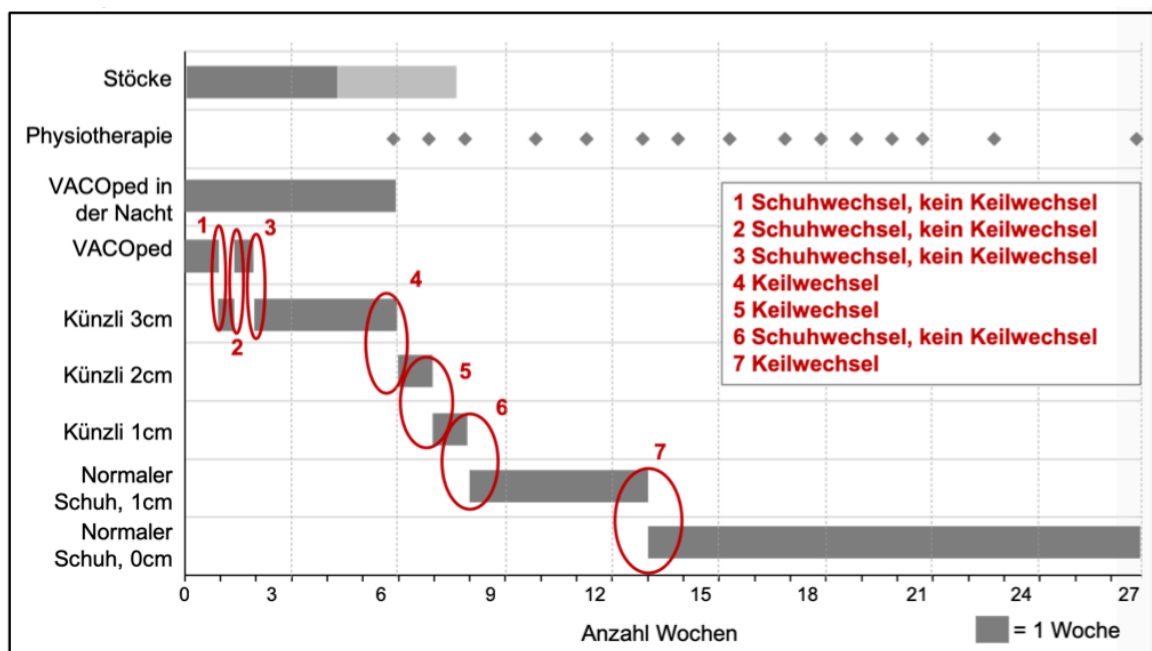
Persönliche Daten	
Alter	48 Jahre
Geschlecht	weiblich
Diagnose	Posttraumatische Achillessehnenruptur beim Sport (Volleyball)
Nebendiagnosen	Fibromyalgie (starke Gelenksschmerzen), Depression
Beruf	Büro, Haushalt
Hobbies/ Sport	Seit 2 Jahren Sport nur unregelmässig, mit Fahrrad zur Arbeit
Soziale Situation	Verheiratet, 2 Kinder (davon 1 Kind ausgezogen), Haus mit 3 Etagen
Ärztliches Procedere	- Keilreduktion nach 6, 8, 12 Wochen
	- Volles ROM ab 5. Woche
	- Fahrradfahren ab 8. Woche
	- Sprung/ Start-Stop ab 9./12. Monat
Physiotherapeutische Behandlungsziele	Gehen, Joggen, Velofahren, Schwimmen, Wandern, Tennis

ROM: Range of Motion = Bewegungsausmass

Der traumatische Unfall ereignete sich beim Volleyballspiel. Nach zwei- bis dreimaligem ans Netz laufen, war beim Losrennen ein Knall zu hören. Daraufhin verspürte die Patientin einen dolchartigen Stich im linken Fuss, fiel zu Boden und war nicht mehr gehfähig. In der Notfallpraxis wurde anschliessend vom Arzt eine Achillessehnenruptur diagnostiziert und zur Nachversorgung ein konservativer Verlauf mit einer Orthese (VACOped, Künzlischuh) bei sechs wöchiger Spitzfussstellung empfohlen. Die ausgehändigten Unterarmgehstöcke nutzte sie während der ersten 4 Wochen zur Entlastung der betroffenen Seite (Abbildung 1). In den darauffolgenden 4 Wochen brauchte sie diese dann lediglich noch für

anstrengendere Tätigkeiten (z.B. langes Gehen, Treppensteigen). In der 6. Woche nach dem Unfall startete die Patientin die physiotherapeutische Nachbehandlung in einer Privatpraxis in Winterthur. Zwischen Mitte Oktober 2018 und Mitte März 2019 wurde die Patientin in regelmässigen Abständen von ein bis zwei Wochen physiotherapeutisch behandelt, wobei sich das Intervall gegen Ende der zweiten Verordnung etwas verlängerte. Insgesamt sind 15 der 18 Behandlungen dokumentiert (Anhang C). Die fehlenden drei Termine konnten nicht rekonstruiert werden, fallen aber unter die erste Verordnung. Der Inhalt der Therapie wurde individuell an die Bedürfnisse der Patientin angepasst. Während der ersten 9 Wochen lag der Fokus auf abschwellenden, mobilisierenden Techniken mit hubarmen dynamischen und einfachen isometrischen Übungen. Ab der 9. Woche wurden zunehmend aktivere und hubvollere Übungen integriert. Detailliertere Informationen werden im Anhang (C) ausgewiesen. Die Keilreduktion erfolgte durch den behandelnden Physiotherapeuten. Der zeitliche Verlauf der Benutzung von Stöcken und Orthesen, der sukzessiven Steigerung der Belastung durch Reduktion der Keil-Höhe, sowie der Therapiesitzungen, ist in der Abbildung 1 aufgezeigt.

Abbildung 1: Procedere der Patientin (Basler & Püntener, 2020)



Parallel zur Behandlung wurden an der ZHAW 6, 8, 10, 12, 14, 17, 19, 24, 31, 40, 51 und 60 Wochen nach dem Unfall, dorsale Longitudinal- und dorsale Transversalschnitte der

Achillessehne mit einem diagnostischen Graustufen-Ultraschall (Philips, BK Medical Software) bei einer Auflösung der B-Frequenz von 9-12 MHz durchgeführt.

Weitere Untersuchungen, welche unabhängig von dieser Arbeit untersucht wurden, umfassten Ganganalysen (ZHAW, Bewegungslabor) und das Ausfüllen eines Schmerztagebuches (dreimal täglich) für 188 Tage.

2.2 Literaturrecherche

Von Juli 2019 bis Mitte Dezember 2019 wurden der theoretische Hintergrund auf Basis des Fallbeispiels zu den relevanten Themen wie Physiologie und Wundheilung der Sehne, konservative Therapie nach Achillessehnenruptur und Ultraschall nach Achillessehnenrupturen mittels Literaturrecherche betrieben. Dazu wurde gezielt im NEBIS nach Büchern in verschiedenen Bibliotheken gesucht. Ergänzt wurde dies mit Literatur wissenschaftlicher Studien aus den Portalen PubMed, PEDRO oder google scholar. Persönliche Kontakte ermöglichten einen umfangreicheren Suchradius durch Zugang via ETH Netzwerk. Weitere Literaturtipps folgten anhand von Referaten oder auf persönliche Empfehlung von Dozenten. Die Erkenntnisse dieser Recherche sind im nachfolgenden Kapitel 3 zusammengetragen.

2.3 Datenerhebung

Der physiotherapeutische Behandlungsverlauf des Einzelfalles wurde von drei am Forschungsprojekt beteiligten Studierenden (6. Semester, Physiotherapie) digitalisiert (Anhang C). Die Praktische Durchführung der Sonographie erfolgte vollumfänglich nach den Vorgaben aus der Literatur (Tabelle 6). Verglichen mit der in der Literatur angegebenen Beurteilungskriterien (Tabelle 7) wurden in dieser Arbeit ausschliesslich Longitudinalschnitte betrachtet. Aus den von McAuliffe, McCreesh, Culloty, Purtill & O'Sullivan (2016) vorgeschlagenen Parametern der Sehnendicke, Vaskularisation und Hypoechogenitäten, wurden die Sehnendicke und die Hypoechogenitäten nach dem Prinzip der 4-Augen-Kontrolle vom Verfasser (Laie, Physiotherapiestudent im 6.Semester) und der Betreuungsperson (Kurs in Sonographie mit 3 Jahren Erfahrung, Dozentin ZHAW) ausgewertet. Diese Methode wurde aus Mangel an klinischer Erfahrung und wegen der uneinheitlichen Definition der Parameter gewählt (Kapitel 3.6.5). Da keine dopplersonographischen Aufnahmen gemacht wurden, war ein Einbezug der Vaskularisation nicht möglich.

2.4 Datenauswahl

In Abbildung 2 ist das Auswahlverfahren der Messzeitpunkte mit den diesbezüglichen Kriterien dargestellt. Die Auswahl erfolgte anhand von Überlegungen bezüglich Zeitintervall, Wundheilungsphasen, relevanten Steigerungen der Belastung während des physiotherapeutischen Verlaufes und dem Keilabbau. Aufgrund ökonomischer Überlegungen wurden hier Zeitpunkte angeschaut, in denen Veränderungen am wahrscheinlichsten sind. Detailliertere Angaben sind im Anhang (B) einsehbar.

Abbildung 2: Auswahl der Messzeitpunkte

12 Messzeitpunkte	davon 8 Messzeitpunkte in 6 Monats Intervall	5 Messzeitpunkt relevant für die Wundheilung	4 Messzeitpunkt relevant für die PT-Verlauf	4 Messzeitpunkt relevant für den Keilabbau	5 Messzeitpunkte ausgewählt für Analyse
1) 23.10.2018 2) 07.11.2018 3) 20.11.2018 4) 04.12.2018 5) 18.12.2018 6) 08.01.2019 7) 24.01.2019 8) 26.02.2019	1) 23.10.2018 2) 07.11.2018 3) 20.11.2018 4) 04.12.2018 5) 18.12.2018 6) 08.01.2019 7) 24.01.2019 8) 26.02.2019	1) 23.10.2018 2) 07.11.2018 5) 18.12.2018 7) 24.01.2019 8) 26.02.2019	2) 07.11.2018 5) 18.12.2018 7) 24.01.2019 8) 26.02.2019	1) 23.10.2018 2) 07.11.2018 5) 18.12.2018	1) 23.10.2018 2) 07.11.2018 5) 18.12.2018 7) 24.01.2019 8) 26.02.2019
9) 16.04.2019 10) 18.06.2019 11) 02.09.2019 12) 06.11.2019					

Auswahlkriterien:

- Ultraschall innerhalb 6 Monate
- ≥ 1 Ultraschall pro Wundheilungsphase
- Stimulierende Übungen für Sehnenstrukturierung

graue Linie: 6-Monatsgrenze der Daten

3 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel 3 wird der theoretische Hintergrund, in einzelne Unterkapitel gegliedert, dargestellt. Als Erstes wird die Anatomie der Achillessehne genauer betrachtet. Als Zweites wird auf die Veränderung der Achillessehne eingegangen, sowie die Arten und Assessments von Achillessehnenrupturen. Als Drittes werden der Wundheilungsverlauf und der allgemeine Heilungsverlauf einer Sehne beschrieben. Im Anschluss wird der konservative Therapieverlauf nach einer Achillessehnenruptur und zum Schluss die bildgebende Beurteilung der Sehne mittels Ultraschalls erläutert.

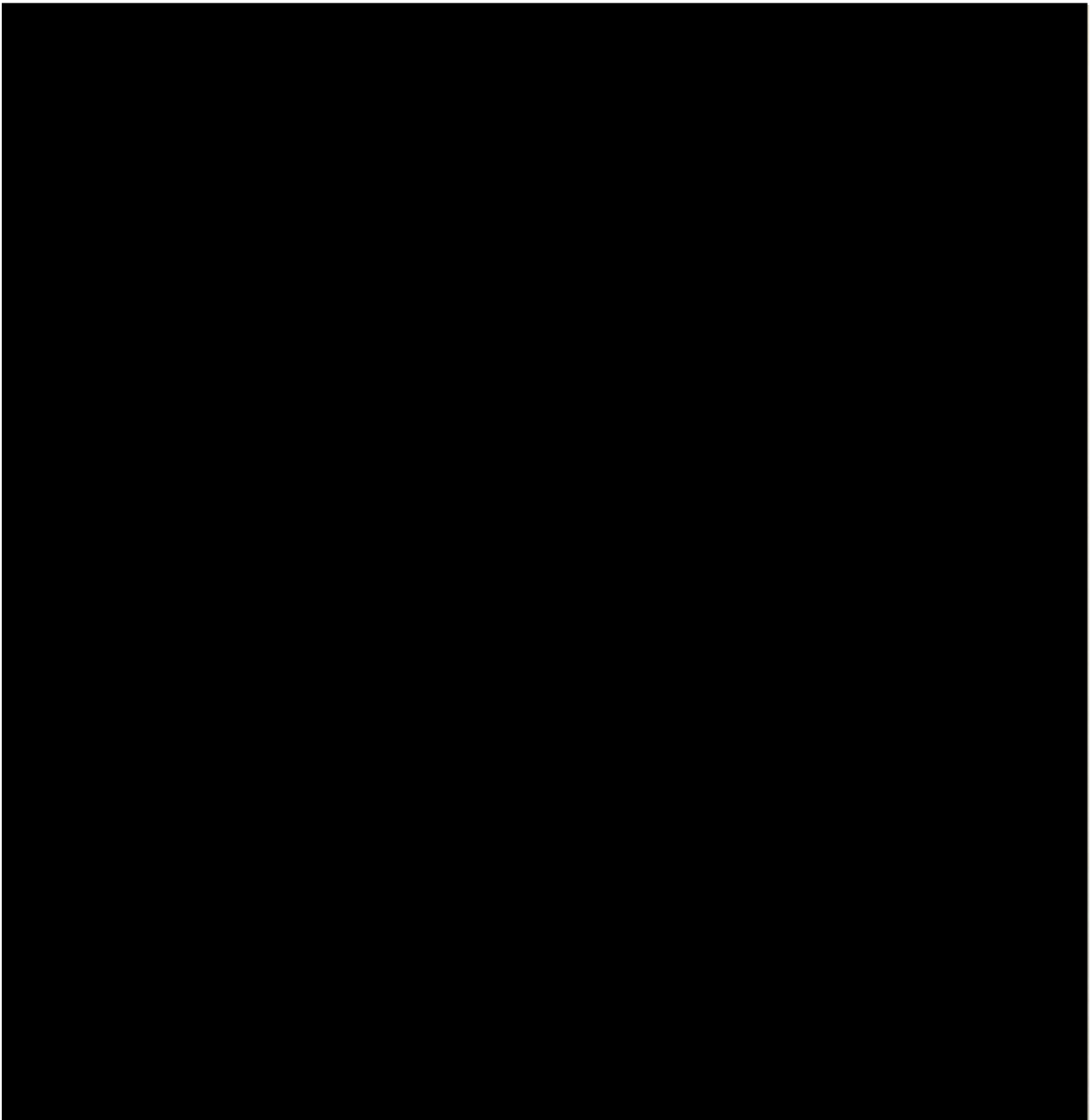
3.1 Anatomie der Achillessehne

Bei der Betrachtung der Anatomie der Achillessehne wird auf den grundlegenden anatomischen Aufbau der Achillessehne und den Sehnenaufbau in Bezug auf Belastung eingegangen.

3.1.1 Grundlegender anatomischer Aufbau der Achillessehne

Die Achillessehnen, auch als *Tendo calcaneus* bezeichnet, entspringt in der Wade und verläuft vertikal in die Ferse (Schünke, Schulte & Schumacher, 2014). Von aussen betrachtet ist die Muskel-Sehnen-Insertion bei etwa der Hälfte der Unterschenkellänge zu finden (Hochschild, 2012). Wie in Abbildung 3 ersichtlich bedeutet dies spezifischer betrachtet, die Bildung aus den gemeinsamen *Aponeurosen* der oberflächlichen dorsalen Flexorenloge des Unterschenkels (*Musculus* (M.) *gastrocnemius*, M. *soleus*) und der Endsehne des M. *plantaris* (Schünke, Schulte & Schumacher, 2014). Gemäss Schünke et al. (2014) beträgt die Länge der gesamten Achillessehne durchschnittlich 20-25 cm. Die Anteile an der Achillessehne betragen für den M. *gastrocnemius* etwa 11–26 cm und für den M. *soleus* 7–8 cm (Quack et al., 2013). Zusammen verlaufen diese Fasern nach caudal, wo sie bis zur Höhe der Malleolen deutlich schmaler werden und ein rundliches Faserbündel bilden, bevor sie sich zur distalen Insertion des *Calcaneus* hin wieder auffächern und schliesslich an der ca. 2 cm breiten Insertion des *Tuber calcanei* ansetzen (Hochschild, 2012).

Abbildung 3: Darstellung der Achillessehne mit den inserierenden Muskeln: Ansicht von dorsal, Oberflächliche Flexoren
a) *M. gastrocnemius* mit Achillessehne, b) *M. soleus* und *M. plantaris* unter Teilentfernung des *M. gastrocnemius*
(Schünke, Schulte & Schumacher, 2014)



Eine Eigenheit der Achillessehnen besteht in der Verdrehung der Fasern im Verlauf. Nach Hochschild (2012) drehen sich laterale Fasern nach medial, sowie posteriore Fasern nach anterior, wobei dies auch in gegensätzlicher Richtung gültig ist. Cummins et al. (1946, zit. nach Pajala, 2009) und Stein et al. (2000, zit. nach Pajala, 2009) sprechen sogar von einer Drehung der Fasern von 90° wobei Fasern des soleus posteriomedial und die des *M. gastrocnemius* anteriolateral an der Tuberositas calcanei inserieren.

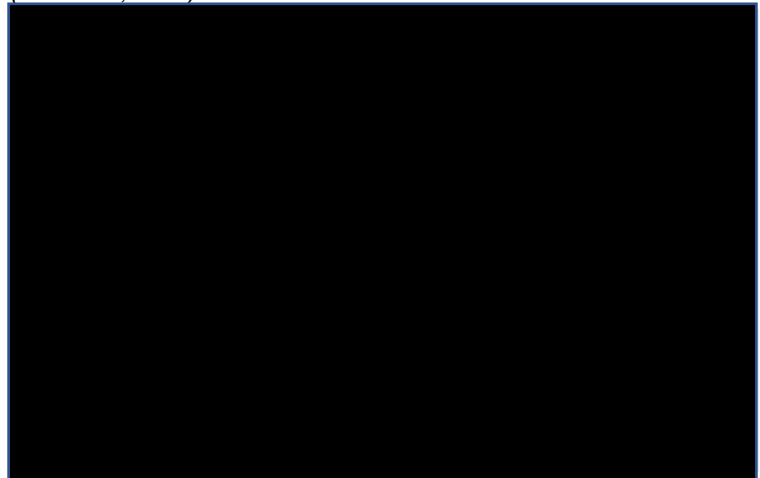
Dies stellt Pajala (2009) mit folgender Abbildung 5 dar. Kannus und Jòzsa (1997, zit. nach Stein, Laprell, Tinnemeyer & Petersen, 2000) konstatieren, dass diese Drehung zu einem erhöhten Stress im mittleren Bereich der Sehnen führt.

Schaut man die Sehne im Querschnitt an (Abbildung 5), zeigen sich die verschiedenen Hüllschichten, die Teile der Sehne und deren Substrukturen umfassen. Dabei ermöglichen das Paratenon und Epitendon ein Gleiten der verschiedenen Faserschichten dorsomediolateral (Pajala, 2009). Dieses Paratenon setzt sich aus lockerem, faserigem Bindegewebe und einer Schicht Synovialzellen zusammen (van den Berg & Cabri, 2003). Zwischen den Sehnenfasern und den Faszikeln liegt ungeformtes Bindegewebe, welches von Blutgefäßen und Nerven durchzogen ist (van den Berg & Cabri, 2003). Eine richtige Sehnenhülle weist die Achillessehne jedoch nicht auf (Pajala, 2009). Ventral liegen Fettgewebe, Körpergewebe und Blutgefäße (Pajala, 2009; Hochschild, 2012). Die genauen zellulären Komponenten sind im Anhang (D) erklärt.

Abbildung 5: Zeichnung des Faserverlaufes des M. Gastrocnemius und M. soleus im Verlauf der Achillessehne (Pajala, 2009)



Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Sehnenquerschnittes (Zschäbitz, 2005)

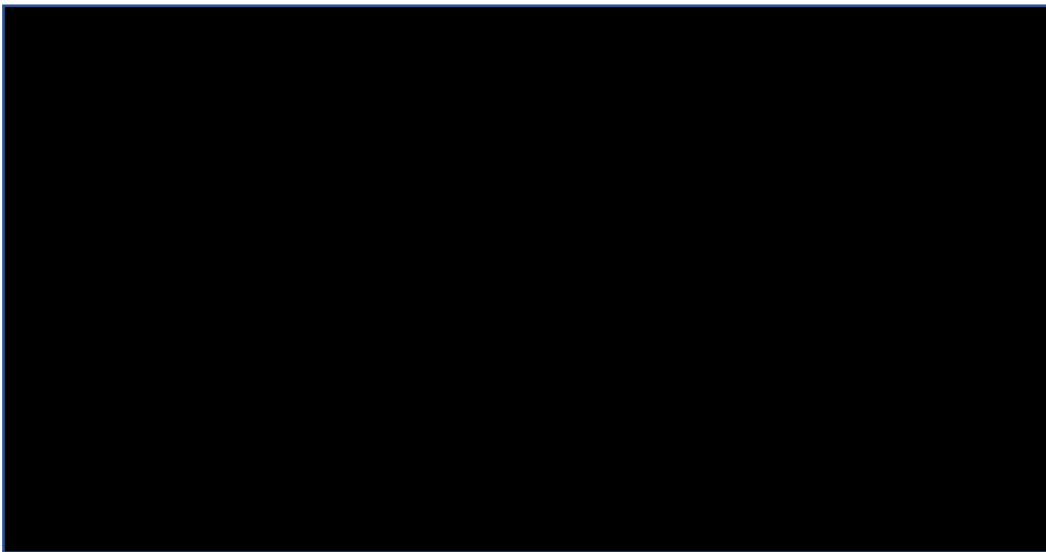


3.1.2 Der Sehnenaufbau in Bezug zur Belastung

Die Achillessehne ist die dickste, längste und stärkste Sehne des menschlichen Körpers (Krischka, 2005; Pajala, 2009; Schünke et al., 2014). Die Querschnittsfläche erstreckt sich im mittleren Abschnitt auf ca. 50-80 mm² (Ahmed, Lagopoulos, McConnell, Soames & Sefton, 1998; Schünke et al., 2014). Die Länge liegt bei 20-25 cm, wie in Kapitel 3.1.1 erwähnt. Die Sehne weist eine Reißfestigkeit von 60-100 N/mm² auf (Schünke et al., 2014). Daraus resultiert eine Zugfestigkeit von bis zu 800 kg. Täglich ist sie Muskelaktivitäten ausgesetzt, die beim Gehen etwa dem 2.5-fachen und beim Laufen dem 6- bis 8-fachen des Körpergewichtes entsprechen (Quack et al., 2013).

Als Sehne ermöglicht die Achillessehne eine Kraftübertragung der Muskulatur zum Knochen. Die Hauptfunktionen des M. triceps surae, der sich aus dem M. gastrocnemius und M. soleus zusammensetzt, sind die Plantarflexion und Inversion im Fussgelenk (Schünke, Schulte, Schumacher, 2014). Ist der M. soleus vor allem für die statische Haltung im Stehen verantwortlich, übertragen die zwei Köpfe des M. gastrocnemius die Abwärtsbewegung die sogenannte Plantarflexion am Sprunggelenk (Schepesis, Jones & Haas, 2002). Dies ermöglicht den Menschen fundamental wichtige Aufgaben wie das Abstoßen des Fusses am Untergrund. Dies wiederum bildet die Voraussetzung für das Gehen, Springen und Rennen. Um die Reibung gegenüber der Umgebung zu vermindern, ist die knöcherne Insertion der Achillessehne durch zwei Schleimbeutel (Bursa) gepolstert. Die medial gelegene Bursa tendinitis calcanei puffert die Reibungsfläche zwischen oberem Tuberrand und Sehne, die Bursa subcutanea calcanea die zwischen Sehne und Haut (Hochschild, 2012).

Wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, ist die Sehne stark hierarchisch aufgebaut (Hirschmüller, 2017). Van den Berg & Cabri (2003) beschrieben dies wie folgt. Der grösste Teil der Sehne besteht aus *Kollagenen*. So erreichen die Fasern im Trockengewicht einen Anteil von 70-80%. Diese Sehnenfasern bestehen vornehmlich aus *Kollagen des Typs I* (ca. 95%). Zwischen ihnen liegt eine geringe Menge an elastischen Fasern (ca. 1%) und im dazwischenliegenden Bindegewebe kommen auch *Kollagen Typ III* (ca. 5%), IV und V vor.



Die Orientierung der Fasern ist parallel zur Sehne und verläuft in Gestalt von Wellen (Abbildung 7) mit einer leichten Spiralforn.

Dies ermöglicht es der Sehne hohe Belastungen besser aufzufangen, da ein Teil der Kraft durch die Streckung der Wellen aufgehoben wird, bevor die Faserstruktur selbst belastet wird. Zschäbitz (2005) spricht davon, dass der Sehnenaufbau dazu dient, plötzliche Muskelkontraktionen abzuschwächen, was zu einem flüssigeren Bewegungsmuster beiträgt. Zudem soll die Achillessehne laut Berechnungen von Ker, Bennett, Bibby, Kester & Alexander (1987) ca. 35 % der kinetischen Energie der Bewegung speichern können.

Abbildung 7: Histologische Präparat mit Darstellung der kollagenen Wellenform (Zschäbitz, 2005)

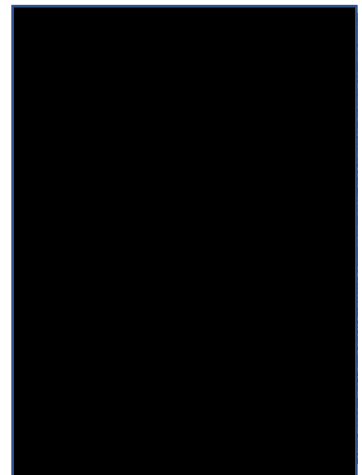


Abbildung 8: Exemplarische Belastungs-Dehnungs-Kurve einer Sehne (Zschäbitz, 2005)



Wie in Abbildung 8 illustriert, findet ungefähr innerhalb des ersten 1% der Sehnenbelastung die Aufhebung ihrer Wellenform in eine gerade Faseranordnung statt (Fussregion). Eine weitere Verlängerung auf ca. 4% (Zschäbitz, 2005) oder 5% (van den Berg & Cabri, 2003) führt einem linearen Anstieg zwischen Belastung und Dehnung, wodurch die Fasern selbst elongieren (lineare Verlängerung). Bis dahin ist das Sehnengewebe *viskoelastisch*, sodass die Sehne nach Abnahme der Belastung ihre anfängliche Form wieder erreicht (Zschäbitz, 2005). Dazu tragen die elastischen Fasern und Teile der Grundsubstanz bei (van den Berg & Cabri, 2003). Übersteigt die Beanspruchung der Sehne die physiologische Belastung treten ab ca. 4% Dehnung Mikrorupturen auf (Zschäbitz, 2005). Ab ca. 8% Dehnung kommt es dann sukzessive zu einer Ruptur der Fasern, die in einer akuten Sehnenruptur endet (Zschäbitz, 2005). Trotz dieser enormen Leistungsfähigkeit und wegen der täglichen sehr hohen Beanspruchung muss sich die Sehne immer wieder regenerieren können. Dazu benötigt sie eine ausreichende Blutversorgung. Laut dem Review von Theobald, Benjamin, Nokes und Pugh (2005) ist die genaue Gefäßversorgung der Achillessehne noch nicht eindeutig geklärt. Die immunohistochemische Studie von Zantop, Tillmann und Peterson (2003) kommt zum Schluss, dass die Achillessehne vor allem durch das anteriore Paratenon versorgt wird. Dabei wird der proximale Sehnenteil noch durch die A. tibialis posterior und der distale Teil durch das rete arteriosum calcaneare, die A. tibialis anterior und A. fibularis versorgt. Bezüglich der Gefässdichte massen Zantop et al. (2003) die geringsten Werte im

mittleren Teil der Achillessehne ca. 4-5 cm oberhalb des calcaneus. Dem stellen Ahmed et al. (1998) gegenüber, dass sich die Gefässdichte relativ zur Querschnittsfläche nicht verändert und die Querschnittsfläche 6-7 cm oberhalb der Insertion am Calcaneus signifikant kleiner war als anderswo.

Übereinstimmend wurde die Durchblutung der Sehnen als sehr schlecht beurteilt.

3.2 Veränderungen der Achillessehne

Im Kapitel 3.2 wird die Veränderung der Achillessehne durch die normale Adaption auf Belastung, Entlastung und Alter einerseits, sowie andererseits durch pathophysiologische Gegebenheiten erläutert.

3.2.1 Normale Adaptation auf Belastung, Entlastung und Alter

Wie jedes biologische Gewebe unterliegt auch die Sehne einem konstanten Auf- und Abbau ihrer Struktur. Dies bedingt, dass diese immer wieder Belastungen ausgesetzt werden sollte, um den Status quo zu erhalten. Durch immer wiederkehrende Belastungsreize wird dem neugebildeten Gewebe ermöglicht, die richtige Ausrichtung zu erlangen. Dabei bewirkt gezieltes Training einen Umbau von dicken Kollagenfibrillen in mehrere dünne Kollagenfibrillen. Hierdurch wird das Gewebe zwar reissfester, jedoch weniger elastisch, womit das Gewebe stabiler, aber gleichzeitig steifer wird. Klinisch bewirkt der Elastizitätsverlust eine erhöhte Empfänglichkeit für Verletzungen (van den Berg & Cabri, 2003).

Die Adaption bei einer Entlastung hingegen führt laut Tabary (1972, zit. nach van den Berg & Cabri, 2003) dazu, dass die Belastbarkeit der Sehne 4 Wochen nach Immobilisation nur noch 1/5 der ursprünglichen Belastbarkeit beträgt. Zum Wiederaufbau der Belastbarkeit schreiben van den Berg & Cabri (2003), dass dies einen Zeitraum von sicherlich 4-12 Monaten beansprucht. Weiter beeinflussen auch eine Unterbelastung der Sehne durch Inaktivität oder ein sitzender Berufsalltag die physiologische Belastbarkeit einer Sehne. Dies äußert sich strukturell in einer Abnahme von kollagenen und nicht kollagenen Bestandteilen. Somit führt eine 12-wöchige Immobilisation laut van den Berg & Cabri (2003) zu einer Reduktion des Kollagens von 16%, wobei sich das neu synthetisierte Kollagen in seiner Belastbarkeit und Struktur deutlich schlechter zeigt wie das normale Gewebe. Folglich erstaunt es nicht, dass weitaus geringere Belastungen schon zu Verletzungen führen können (van den Berg & Cabri, 2003).

Wie allgemein bekannt ist, verlangsamen sich Stoffwechselprozesse und Zellregeneration mit zunehmendem Alter. Für die Sehne bedeutet dies eine Abnahme der Zellzahl und eine Reduktion der Syntheseaktivität des Kollagens. Dadurch überwiegt der Abbau dem Aufbauprozess und die Sehne wird geschwächt (van den Berg & Cabri, 2003). Dies hat schlussfolgernd ähnliche Folgen wie die Entlastung der Sehne.

Zusammenfassend kann folgende Adaption angenommen werden:

- Belastung: steigende Reissfestigkeit und sinkende Elastizität
- Entlastung: sinkende Reissfestigkeit und sinkende Elastizität
- Alter: sinkende Belastbarkeit

Wie eine pathophysiologische Adaption zu Stande kommt, wird im nachfolgenden Kapitel 3.2.2 erläutert.

3.2.2 Pathophysiologie

Der Mechanismus, der einer Achillessehnenruptur zu Grunde liegt, ist multifaktoriell (Quack et al., 2013). Voraussetzungen für eine Ruptur sind pathologische Veränderungen der Sehne (Krischak, 2009). Diese setzen sich durch intrinsische oder extrinsische Faktoren zusammen. Als intrinsische Faktoren gelten degenerative Veränderungen der Sehne. Oftmals kommt es zur Ruptur der Sehne in der hypovaskulären Zone 3-7 cm oberhalb der calcanearen Insertionsstelle (Krischak, 2009; Quack et al., 2013). Dabei kommt es in 75% der Fälle in dieser Zone zu einer Ruptur (so Lea und Smith 1972, zit. nach Krause & Weisskopf, 2017). 14% der Rupturen ereignen sich nahe der Insertion und 14-24% am Muskel-Sehnenübergang (Krause & Weisskopf, 2017). Ursächlich werden wiederkehrende Mikrotraumata begleitet von einer inadäquaten Heilung diskutiert (Quack et al., 2013). Dazu tragen möglicherweise ungünstige lokale anatomische Gegebenheiten wie die lokale Minderdurchblutung (Zantop et al., 2003), eine Verdünnung der Querschnittsfläche der Sehne und die Verwringung der einzelnen Fasern umeinander bei (Ahmed et al., 1998; Theobald et al., 2005) (siehe Kapitel 3.1). Verschiedene Faktoren, die eine Ruptur der Achillessehne begünstigen, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Achillessehnenriss begünstigende Faktoren (angepasst nach Krause & Weisskopf, 2017; Quack et al., 2013)

Faktoren die zu einer Achillessehneruptur prädisponieren		
Endogene Faktoren	Exogene Faktoren	Extrinsische Faktoren
<ul style="list-style-type: none"> • Erkrankungen des Autoimmunsystems • Stoffwechselerkrankungen • Endokrine Dysfunktionen • Infektionserkrankungen • Rheumatoide Arthritis, Gicht, Lupus erythematodes 	<u>Umgebung</u> <ul style="list-style-type: none"> • Kälte • Feuchtigkeit • Beschaffenheit des Untergrundes 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigungsmechanismen • Bremsmechanismen (v.a. bei Stop-and-go Sportarten)
		Ätiologisch
<u>Medikamenteneinnahmen</u>	<u>Verwendete Materialien</u>	<u>Menschliches Fehlverhalten</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Fluorquinolone • Immunsuppressiva • Kortikosteroide 	<ul style="list-style-type: none"> • Schuwerk • Falsches Sportgerät 	<ul style="list-style-type: none"> • Überehrgeiz • Überbelastung • Mangelndes Aufwärmen

Ist die Sehne vorgeschädigt kann nach Arner et al. (1959, zit. nach Khan & Carey Smith, 2010) die Verletzung einerseits herbeigeführt werden durch eine erzwungene Plantarflexion (während sportlichen Aktivitäten), einer unerwarteter Dorsalextension (wie beim Treppensturz) oder einer plötzlichen Richtungsänderung des plantarflektierten Fusses in Dorsalextension (wie beim Sturz von einer Leiter). Etwas allgemeiner formulieren Mayer & Siems (2011) eine Ruptur bei abrupten Bewegungen (wie dem Start beim Sprinten).

3.3 Arten und Assessments von Achillessehnenrupturen

Es gibt drei Arten von Achillessehnenrupturen, namentlich die komplette Ruptur, die Teilruptur und die Ausrissruptur (Mayer & Siems, 2011). Klinisch präsentieren sich komplette Rupturen mit einem lauten, peitschenartigen, schmerzhaften Knall und nach Einblutung in den defekten Bereich mit einer Schwellung (Krischak, 2009; Mayer & Siems, 2011). Anspannung oder Bewegung sind bei Teilrupturen meist schmerzhaft, wobei bei totalen Rupturen wenig Schmerz entsteht (Krischak, 2009). Bei kompletten Rupturen ist zudem oftmals eine Delle entlang des Faserverlaufs gut sichtbar oder aber über dem Sehnenverlauf tastbar (Krischak, 2009). Die amerikanische Akademie orthopädischer Chirurgen (AAOS) schlägt in ihren Richtlinien vor, in der physischen Untersuchung mindestens zwei der folgenden Tests durchzuführen, um eine akute Achillessehnenruptur zu diagnostizieren (Chiodo et al., 2010):

- Thompson,
- Test zur reduzierten Kraft der Plantarflexion,
- Auffinden einer palpierbaren Lücke und
- eine reduzierte passive Dorsalflexion bei sanfter Manipulation

Weitere Autoren schlagen zur klinischen Diagnose noch den Einbeinzehenstand (Krischak, 2009) oder den Maltes-Test vor (Hofstätter et al., 2017). Der Dellentest kann eine Delle an der Rupturstelle zeigen und hat eine Sensitivität von 0.73 (Quack et al., 2013), falls diese nicht durch Einblutung oder Schwellung überlagert wird. Der Thompson-Test, ist mit einer Sensitivität von 0.93, jedoch ein recht sicheres Zeichen einer akuten Ruptur. Dellen- und Thompson-Test haben zusammen einen hohen prädikativen Wert zur Bestimmung einer akuten Ruptur (Quack et al., 2013). Jedoch kann die Plantarflexion durch Kompensation anderer Flexoren wie M. tibialis posterior, die langen Flexoren (M.

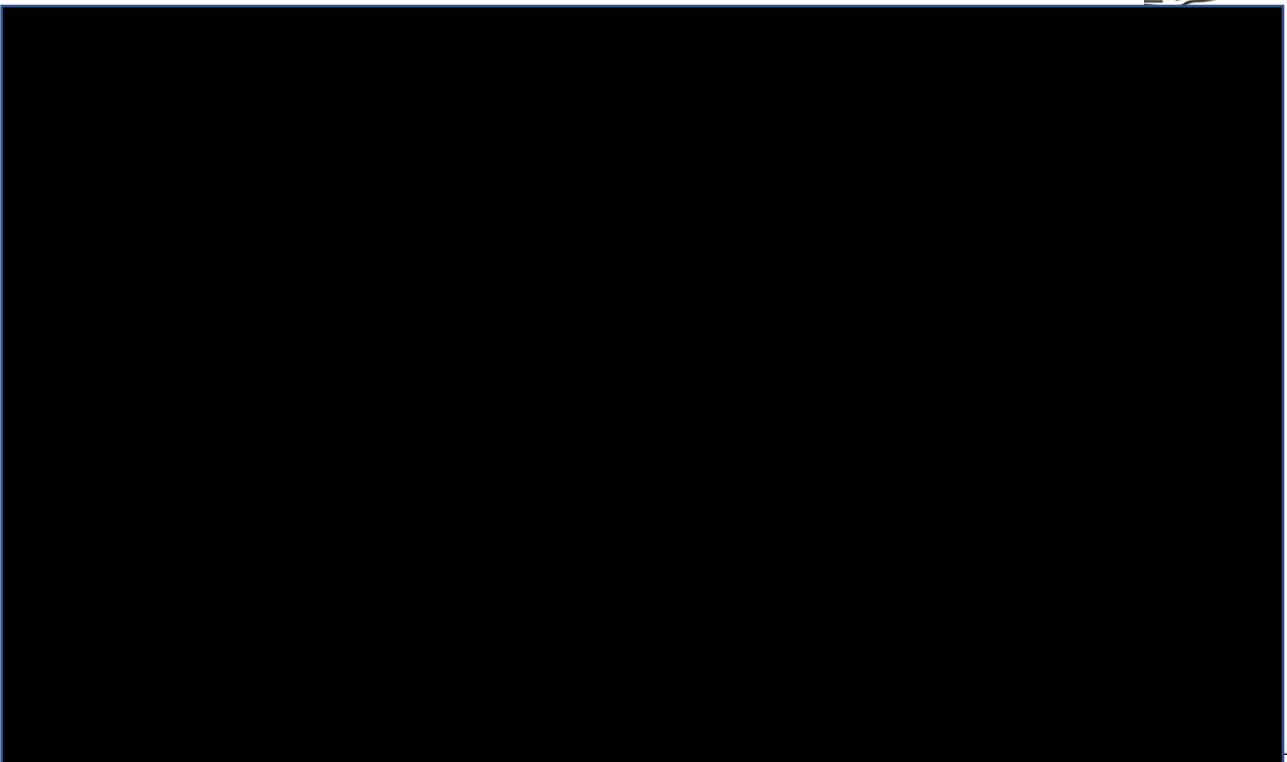
flexor hallucis longus, M. flexor digitorum longus) und des M. peroneus noch möglich sein (Hofstätter et al., 2017; Krischak, 2009).

Trotz dieser klinischen Tests hat sich gezeigt, dass ein akute Achillessehnenruptur in 20-25% der Fälle übersehen wird (Doral, Huri, Eroglu, Turhan & Sargon, 2017). Hier könnte eine sonographische Untersuchung Klarheit schaffen.

3.4 Wundheilungsphasen und Heilungsverlauf einer Sehne

In diesem Kapitel wird auf die Wundheilungsphasen einer Sehne eingegangen. Der spezifische Heilungsverlauf der Achillessehne konnte in der Literatur nicht aufgefunden werden, weshalb in diesem Kapitel der Heilungsverlauf einer Sehne im Allgemeinen beschrieben wird. Als Grundlage dient die Übersicht in Abbildung 9 von Schneider et al. (2018).

Abbildung 9: Wundheilungsphasen (Schneider et al., 2018)



Schneider et al. (2018) beschreiben hier in groben Zügen die drei klassischen Phasen der Wundheilung. Diese sind die Entzündungsphase (bis zu 3 Tage), Proliferationsphase (bis zu einigen Wochen) und die nach 6-8 Wochen startende Remodellierungsphase (Konsolidierungsdauer mit ca. 10 Woche, Maturationsdauer mit ca. 1-2 Jahren). Dies deckt sich mit Beschreibungen anderer Autoren (Nowotny & Kasten, 2015; Sharma &

Maffulli, 2006). Die wichtigsten Punkte innerhalb der Heilungsphasen sind in Abbildung 9 beschrieben.

Die Sehnenheilung kann in zwei verschiedene Prozesse unterteilt werden. Nowtony & Kasten (2015), Steverding (2007) so wie van den Berg & Cabri (2003), sprechen von der intrinsischen und extrinsischen Sehnenheilung. Heilt sich das Gewebe von seinen umliegenden Strukturen aus, beispielsweise durch die Unterhaut (Subkutis), den Knochen oder deren Knochenhaut (Periost), die umliegenden Faszien oder die Sehnenscheiden, spricht man von extrinsischer Heilung der Sehne. Heilt sich die Sehne von ihrem Gewebe selbst heraus (Epitenon und Endotenon), spricht man dagegen von der intrinsischen Heilung (van den Berg & Cabri, 2003). Eine detaillierte Beschreibung dieser beiden Heilungsphasen ist im Anhang (E) zu finden. Dies legt nahe, dass die Achillessehne bei kompletter Ruptur zuerst extrinsisch heilt. Kleinere Mikrofrakturen der Achillessehne folgen hingegen eher der intrinsischen Heilung. Dies wird bestätigt durch van den Berg & Cabri (2003), die sagen, dass die intrinsische Heilung eher bei sehr kleinen Verletzungen der Sehne selbst stattfindet, wobei die extrinsische Heilung eher bei grösseren Verletzungen mit Begleitverletzung der Gefässe auftritt. Wie Steverding (2007) hingewiesen hat, birgt die intrinsische Heilung durch die Abwesenheit der Entzündungsphase und ein verspätetes Auftreten von klinischem Schmerz die Gefahr der akuten Bagatellisierung und damit eines chronischen Verlaufs. Dies könnte zu einer Schwächung der Achillessehne führen und weiterfolgend eine mögliche Ruptur begünstigen. So hat Pajala (2009) durch Zellentnahme an der Rupturstelle zeigen können, dass sich dort vermehrt Kollagen Typ III bildete. Daraus lässt sich auf eine Vorschädigung der Sehnen vor der Ruptur schliessen. Eine Achillodynie folgt wohl eher der intrinsischen Heilung und führt durch zu frühe Belastungen vermehrt zu chronischen Zuständen. Nowtony & Kasten (2015) gehen jedoch davon aus, dass beide Prozesse für eine ausreichende Heilung der Sehne benötigt werden.

3.5 Konservative Therapie nach Achillessehnenruptur

In der Rehabilitationsgestaltung zwischen verschiedenen Ländern kommt es immer wieder zu Unterschieden in den konservativen Behandlungsansätzen. Deshalb wird nachfolgend auf ein Schweizer Behandlungsschema einer renommierten Schweizer Klinik eingegangen, die mit diesem Ansatz langjährige gute Erfahrungen gesammelt hat (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Es widerspiegelt ein Behandlungsschema mit einem Künzlishuh und kommt somit den Gegebenheiten unseres Fallbeispiels sehr nahe. Zudem dient es unserem Fallbeispiel als Vergleich in den Resultaten. Im Kapitel 3.5 wird zuerst der konservative Verlauf beschrieben, worauf dessen Vor- und Nachteile aufgezeigt werden. Des Weiteren werden Therapieindikatoren der konservativen Behandlung erläutert. Im Anschluss wird die physiotherapeutische Nachbehandlung betrachtet und zum Schluss ein Vergleich zwischen der konservativen und operativen Therapie gezogen.

3.5.1 Konservativer Verlauf

Da Sehnen nach der Ruptur zur Verlängerung tendieren und diese Verlängerung mit einer schlechteren Funktion einhergeht, ist es für eine gute Kraftentwicklung wichtig, dass sich die Enden der Sehne zu Beginn der Behandlung möglichst nahe aneinander finden (Krause, 2017). Um dies zu gewährleisten, wird die Sehne durch klinische Tests und mittels Ultraschalles kontrolliert (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019; Kapitel 3.2, Kapitel 3.6.3). Um ein optimales Zusammenwachsen der Rupturenden dauerhaft zu gewährleisten, wird der Fuss in Spitzfussstellung, bei 20° Plantarflexion, mit einem weichen Kunststoffgips (SoftCast, 3M Health Care, St. Paul, Minnesota) über 6 Wochen fixiert (Krause, 2017). Zudem wird ein Therapiestiefel (Künzli Ortho Rehab Total) mit einer Fersenerhöhung von 3-4 cm (abhängig von der Schuhgrösse) verordnet (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Danach ist die Vollbelastung mit Gips und Therapiestiefel erlaubt, wobei in der ersten Woche noch an Unterarmgehstöcken entlastet werden darf (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). In der Nacht und beim Liegen kann der Spezialschuh ausgezogen werden, da der SoftCast für den Erhalt der Plantarflexion ausreicht (Krause, 2017; Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Jedoch sollte das Belastungsverbot ohne Schuh strikt eingehalten werden (Krause, 2017; Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Eine Thromboseprophylaxe ist während der Tragezeit des SoftCastes indiziert (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019), da in

dieser Position die Wadenpumpe ausfällt (Krause, 2017). Laut Krause (2017) findet die erste Kontrolle 10-14 Tage und die zweite, wegen dem SoftCast Wechsel, ca. 4 Wochen nach Therapiebeginn statt. Bei der ersten Kontrolle wird die Achillessehne bedacht aktiv und passiv bewegt, unter Palpation der Sehnenenden (Krause, 2017). Bewegen sich die beiden Sehnenenden zusammen, wird dies als Zeichen einer beginnenden Sehnenheilung gewertet (Krause, 2017). Bewegt sich nur der proximale Teil, sollte die Untersuchung eine Woche später nochmals wiederholt oder eine operative Versorgung eingeleitet werden (Krause, 2017). Falls keine spontane Plantarflexion stattfindet, ist mit einem schlechten Ergebnis bei konservativer Weiterbehandlung zu rechnen (Krause, 2017). Bei zufriedenstellender Kontrolle erfolgt die Weiterbehandlung im SoftCast bei 20° Plantarflexion und Vollbelastung im Künzlschuh bis zur 6. Woche, wobei ein Gipswechsel nach 4 Wochen erfolgt (Krause, 2017). Nach 6 Wochen wird der SoftCast nun endgültig abgenommen (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Die Belastung wird nun sukzessive durch die Keilreduktion gesteigert. So wird nach 6 Wochen der kleinere der beiden Fersenkeile entfernt, nach 8 Wochen der kleinere wiedereingesetzt und der grössere Keil entfernt, woraufhin nach 10 Wochen ohne Keil belastet werden darf (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Während der Physiotherapie darf nun mit einem Turnschuh mit 1cm Absatzerhöhung trainiert werden (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Die Sehne verfügt nun über ausreichend Widerstand für kontrollierte Übungsbewegungen (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Für weitere 2 Wochen sollte der Spezialschuh jedoch noch konsequent ausserhalb der Physiotherapie getragen werden, um vor Spitzenbelastungen, wie beim Stolpern oder Stürzen, zu schützen (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Ab der 13. Woche darf in der Physiotherapie barfuss trainiert werden (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Der Künzlschuh muss nun nicht mehr getragen werden, jedoch werden Turnschuhe mit Absatzerhöhung von 1 cm, oder 8 mm Einlegesohlen, bis zu einem halben Jahr nach dem Sehnenriss empfohlen (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Nun kann auch das Joggen auf ebenem Untergrund und das Schwimmen wieder aufgenommen werden (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Auch das Dehnen der Wadenmuskulatur mit gestrecktem Knie ist jetzt wieder erlaubt. Die schrittweise Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität erfolgt zwischen dem 6. und 9. Monat und ist abhängig vom Rehabilitationsverlauf und den Anforderungen der Sportart an die

Achillessehne (Kontaktsportarten mindestens 85% im Hop-Test-Score) (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). Zudem ist sie auch abhängig vom Trainingszustand, der Stabilität und den koordinativen Fähigkeiten der Personen (Krause, 2017). Nach Krause (2017) ereignet sich die Mehrheit der Rerupturen im 4. und 5. Monat, am Ende der protektiven Phase. Folglich sollte in diesem Zeitabschnitt besonders auf die Qualität und die Patientenedukation geachtet werden.

3.5.2 Vorteile, Nachteile und Therapieindikationen der konservativen Behandlung

In nachfolgender Tabelle 3 sind die Vor- und Nachteile einer konservativen Therapie dargestellt.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der konservativen Therapie (angepasst nach Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019; Krause, 2017; Nissel-Helander, 2010)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Risikoärmer (kein Operations- und Narkoserisiko, keine Wundheilungsstörungen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigere Rupturrate
<ul style="list-style-type: none"> • Weniger Wundschmerzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Kraftentwicklung und raschere Ermüdung bei heel-raise
<ul style="list-style-type: none"> • Schnellere Arbeits- und Gehfähigkeit 	
<ul style="list-style-type: none"> • Weniger Arbeitsausfall 	
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Hospitalisierung 	
<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Kosten 	
<ul style="list-style-type: none"> • Gleiche Thrombose rate wie bei operativem Verfahren 	
<ul style="list-style-type: none"> • Resultate vergleichbar mit operativer Versorgung 	

Die in Tabelle 4 aufgezählten Faktoren dienen nach Krause (2017) der Indikation einer konservativen Therapie.

Tabelle 4: Indikatoren zur konservativen Therapie (nach Krause, 2017)

Konservative Therapieindikationen
<ul style="list-style-type: none"> • „ASR [Achillessehnenruptur] mit weniger als 5 mm Dehiszenz in 20° Plantarflexion,
<ul style="list-style-type: none"> • Präsentation / notfallmäßige Gipsruhigstellung in 20°-Plantarflexion in den ersten 48 h nach Ruptur,
<ul style="list-style-type: none"> • Patient ist kein(e) Hochleistungssportler(in) unter 40 Jahren,
<ul style="list-style-type: none"> • keine degenerative ASR (adäquates Trauma), keine Reruptur.“

3.5.3 Physiotherapeutische Nachbehandlung

Der detaillierte Verlauf der physiotherapeutischen Nachbehandlung wird in nachfolgender Übersicht (Tabelle 5) dargestellt.

Tabelle 5: Physiotherapeutischer Verlauf nach konservativer Achillessehnenruptur (angepasst nach Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019)

Zeitraum	Behandlungsziel	Massnahmen	Trainingsmethode
1. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Informationen über Ablauf und Kontraindikationen“ „Schwellungsabbau“ „Optimales Gangbild: Stockfreies Laufen sobald wie möglich“ „Heimprogramm erlernen“ „Kontrakturprophylaxe“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Prozedere und Ziele besprechen“ „Hochlagern“ „Gangschule im Künzlisshuh: Belastung nach Massgabe der Beschwerden“ „Mit den Zehen Tüechli greifen“ „Zehen, Knie, Hüfte beugen/strecken“ „Isometrische Spannungsübungen im Softcast in alle Richtungen“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Wade: isometrisches Training der Unterschenkelmuskulatur (5x 10 Sekunden)“
2. bis 6. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Vollbelastung“ „Koordinationsverbesserung“ „Kräftigung Bein-/Rumpfmuskulatur“ „Kreislauftraining“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Gangschule im Künzlisshuh mit Vollbelastung“ „Einbeinstand im Künzlisshuh Steigerung: Von stabiler zu labiler Unterlage“ Instruktion MTT-Programm 	<ul style="list-style-type: none"> „Training der nicht betroffenen Muskulatur der unteren Extremität und des Rumpfes. Je nach Trainingszustand: Kraftausdauer (20 Wiederholungen, 3-5 Serien) oder Hypertrophie (8-12 Wiederholungen, 3-5 Serien).“ „Ausdauer (Hometrainer)“
7. bis 9. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Schmerzlinderung“ „Beweglichkeitsverbesserung des Fusses“ „Kräftigung Wadenmuskulatur im Sitz“ „Kräftigung Bein-/Rumpfmuskulatur“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Hypertone Muskulatur lösen, Bindegewebstechnik“ „Oberes Sprunggelenk und angrenzende Gelenke in alle Richtungen passiv mobilisieren (in Kniebeugung)“ „«Wischen» im Sitz: Fuss vor und zurückziehen“ „Ferse anheben im Sitz mit Eigengewicht des Beines in 90° Knieflexion Steigerung: Widerstand geben mit Hand auf Knie“ „MTT weiterführen“ „Squats, seitliche Step ups, Squat Lunges...“ Nach einer Operation: Narbenbehandlung“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Wadenmuskulatur: Konzentrisches und exzentrisches Training, Kraftausdauer“ „Hypertrophie der nicht betroffenen Muskulatur der unteren Extremität und des Rumpfes.“

Stabilität

Zeitraum	Behandlungsziel	Massnahmen	Trainingsmethode
10. bis 12. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Hinkfreies Gehen“ „Seitengleiche Beweglichkeit“ „Kräftigung Wadenmuskulatur im Stand“ „Kräftigung Bein-/Rumpfmuskulatur“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Oberes Sprunggelenk und angrenzende Gelenke in alle Richtungen passiv mobilisieren (in Kniebeugung)“ „Gangschule im Turnschuh“ „Über gesundes Bein hoch in den Zehenstand, nur auf dem betroffenen Bein runter“ „Zehenstand einbeinig an Leg Press“ „Squats, seitliche Step ups, Squat Lunges...“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Wadenmuskulatur: Konzentrisch und exzentrisches Training, Kraftausdauer“
13. Woche bis 16. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Optimale Koordination/ Stabilisation in Bewegung“ „Kräftigung Bein-/Rumpfmuskulatur“ 	<ul style="list-style-type: none"> „MTT“ „Lauf-ABC (Medflex, Skippings, Anfersen, Zehengang/ Fersengang, Kreuzschritt...)“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Wadenmuskulatur: Umstellung auf Hypertrophie“ „IK-Training der nicht betroffenen Muskulatur der unteren Extremität (3–5 Wiederholungen, 3 Serien)“
ab 17. Woche	<ul style="list-style-type: none"> „Optimale Sprungkraft“ „Vorbereitung auf die Wiederaufnahme des Sportes“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Sprung ABC (langsamer/schneller DVZ)“ „Sportartspezifisches Training“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Wadenmuskulatur: Umstellung auf IK-Training“ „Reaktivkraft gesamte Beinmuskulatur (6–10 Wiederholungen, 2–5 Serien)“

3.5.4 Vergleiche der Konservativen mit der operativen Therapie

Vergleicht man operative mit nicht operativen Behandlungen nach akuter Achillessehnenruptur, zeigt eine Studie von Jones, Kahn und Smith (2012) eine deutlich kleinere Rerupturrate nach operativen Verfahren (4.4%) verglichen mit nicht-operativen Verfahren (10.6%). Erfolgt jedoch eine Rehabilitation mit kurzer Immobilisation in funktioneller Orthese (brace), gibt es keinen signifikanten Unterschied mehr in der Rerupturrate operativer (5%) zu nicht-operativer Gruppe (8%) (Jones et al., 2012). Die häufigsten Komplikationen, wie *Adhäsionen*, Nervus tibialis Verletzungen, Wundinfektionen oder Sensitivitätsstörungen fanden laut Jones et al. (2012) vorwiegend nach operativer Versorgung statt (27% operativ, 6% konservativ). Wundinfektionen können jedoch mit perkutaner Operation bis auf 9.3% reduziert werden (Jones et al., 2012). Das Review von Jones et al. (2012) zeigt bezüglich Langzeitfunktion oder Return to Sport keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Eine kürzlich erschienene Studie wertete Daten von insgesamt über 15'000 Patienten in einem systematischen Review und Methaanalyse aus (Ochen, Beks, van Heijl, Hietbrink, Leenen, van der Velde, Heng, van der Meijden, Groenwold & Houwert, 2019). In der Studie zeigt ein operatives Vorgehen eine geringere Rerupturrate gegenüber einem konservativen Vorgehen (2.3% vs. 3.9%). Jedoch geht eine operative Behandlung der Achillessehnenruptur mit einer höheren Komplikationsrate einher (operativ: 4.9%, konservativ: 1.6%) (Ochen et al., 2019). Dabei machen postoperative Infektionen mit 2.8% den grössten Teil der Komplikationen aus (Ochen et al., 2019). Zudem gab es keine Unterschiede bezüglich Rerupturrate zwischen konservativer Versorgung mit „beschleunigter funktioneller Rehabilitation mit früher Beweglichkeitssteigerung“ und operativer Versorgung (Ochen et al., 2019). Dabei gab es keinen Unterschied bezüglich operativem und konservativem Verlauf nach Frühmobilisation bezüglich Bewegungsausmass (Plantarflexion & Dorsalextension), Wadenumfang und „Functional Assessment Instrument“ zwischen 2 und 52 Wochen (Twaddle & Poon, 2007). Jedoch war die Rerupturrate bei operativen Verfahren signifikant kleiner gegenüber früher Gewichtsübernahme (<4 Wochen) und später Gewichtsübernahme (>4 Wochen) (Ochen et al., 2019). Auch bezüglich der Rückkehr zum Arbeitsplatz oder der Rückkehr zum Sport konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gezeigt werden (Ochen et al., 2019). Bezüglich früher oder später Gewichtsübernahme zeigt ein Review von El-

Akkawi, Joanroy, Barfod, Kallemose, Kristensen, & Viberg (2018) keine Unterschiede bezüglich Rerupturrate, Kraft, Lebensqualität, Beweglichkeit, tiefer Venenthrombose, und der Rückkehr zur Arbeit und Sport. Die Rückkehr zum Sport erfolgt nach operativem Verfahren zwischen 6 bis 9 Monaten, bei konservativem Verfahren zwischen 6 bis 8 Monaten (Ochen et al., 2019). Majewski, Richter und Steinbrück (2000) zeigten, dass es sowohl nach operativer wie auch konservativer Versorgung zu einem Kraftverlust verglichen mit der Gegenseite kommt. In Ihrer Studie lag der Kraftverlust für die konservative Therapie bei 17.8%, bei offener operativer Versorgung bei 12.7% und für die perkutane Versorgung bei lediglich 8.9%.

3.6 Bildgebende Beurteilung der Sehne in der Sonographie

Nachdem die physiologischen Gegebenheiten der Sehne und ihre Anpassung und Wundheilung abgeschlossen sind, befasst sich dieses Kapitel mit der Sonographie. Zuerst folgen eine Definition und die grundlegende Entstehung eines Ultraschallbildes. Im Anschluss wird die Funktion des Graustufen-Ultraschall erklärt, auf die praktische Anwendung eingegangen und Beispiele der gesunden und pathologischen Sehne gezeigt. Abschliessend wird kurz auf die Beurteilung der Bildgebung sowie die Rolle der Sonographie bei Achillessehnenrupturen eingegangen.

3.6.1 Definition

Laut dem klinischen Fachportal AMBOSS GmbH (2019) wird Sonographie wie folgt definiert:

Sonographie (von lat. sonare = "erschallen", "erklingen") bezeichnet ein radiologisches Verfahren, das mithilfe von Ultraschallwellen Dichteunterschiede von Geweben sichtbar macht. Es handelt sich um ein nicht-invasiv einsetzbares, grundsätzlich komplikationsloses und aussagekräftiges Verfahren, das häufig im klinischen Alltag zum Einsatz kommt. (2.Kapitel)

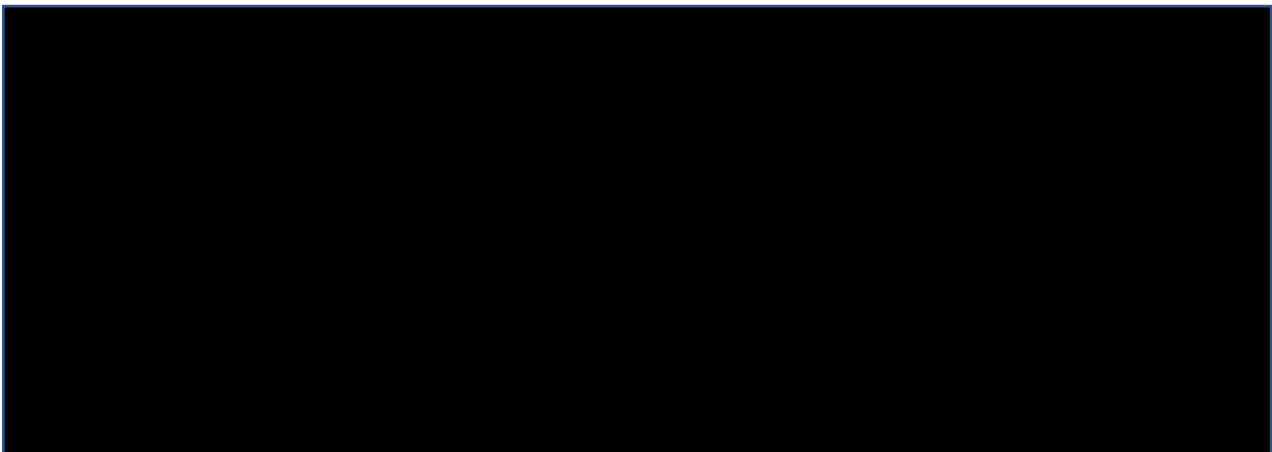
3.6.2 Funktion des Graustufen-Ultraschall

Als Ultraschall bezeichnen sich Schallwellen oberhalb der menschlichen Hörschwelle von 16-20 kHz (Heynemann & Jenderka, 2018). Wie in Jenderka & Delorme (2018) beschrieben, werden im Falle des diagnostischen Ultraschalls diese Wellen von sogenannten *piezoelektrischen* Wandlern erzeugt. Sie bestehen aus piezoelektrischen Keramikplatten, die mit einer elektrisch leitenden Beschichtung überzogen sind. Sie haben die Eigenschaft sich bei elektrischer Spannung zu verformen (*inverser Piezoelektrischer Effekt*) und sind im Schallkopf integriert. Somit kann durch elektrische Spannung eine Schallwelle erzeugt und durch direkten Kontakt auf der Haut, mit einem Gleitgel von Luft abgedichtet, auf das Gewebe übertragen werden. Beim Durchdringen der verschiedenen Gewebeschichten werden mit zunehmender Eindringtiefe die Longitudinalwellen vom Gewebe absorbiert. An der Grenzfläche zweier Gewebetypen (z.B. Unterhautfett und Sehnengewebe) wird ein kleiner Teil der Schallwellen reflektiert, wobei der Rest weiter durch das Gewebe fortfährt. Je nach Festigkeit und Materialeigenschaft des Gewebes findet auch eine Streuung der Schallwellen statt. Der reflektierte Teil der Ultraschallwellen trifft danach wieder auf den Schallkopf (Impuls-Echo-Prinzip), wobei diese Wellen eine

mechanische Verformung der piezoelektrischen Keramikplatten verursachen. Durch den Piezoelektrischen Effekt wird diese Verformung in eine elektrische Spannung umgewandelt. Diese Spannungsamplituden (A-Linien) werden durch das Ultraschallgerät moduliert und dann in verschiedene Helligkeitslinien (Graustufen, engl. Brightness, B-Linien) übersetzt. Wie in Abbildung 11 ersichtlich, entsteht ein zweidimensionales Bild nun durch die vom Beamformer koordinierte und zeitlich terminierte Auswahl und Abfolge der verschiedenen piezoelektrischen Transmitter, die nebeneinander aufgereiht einen Multielementwandler bilden. Somit lässt sich der Bereich unterhalb des Schallkopfes scannen. Die sich teilweise überlappenden B-Schnittbilder werden dann vom Scankonverter zusammengefügt und geometrisch korrekt als 2-D Bild auf den Monitor projiziert (Jenderka & Delorme, 2018).

Abbildung 11: Schematische Darstellung der Zusammensetzung eines Schnittbildes von B-Mode-Linien durch Abtasten der Schallbündel eines Linear-Arrays (Heynemann & Jenderka, 2012)

Abbildung 11: Verschiedene Schallköpfe mit ihren Scannbereichen (Heynemann & Jenderka, 2012)



Zur Abbildung oberflächlicher Strukturen, wie bei der Achillessehne, eignet sich der Linear-Array (Abbildung 11b). Er setzt sich aus 128 bis 192 einzelnen Piezoelementen auf einer Länge von 4-6 cm zusammen. Durch seine lineare Anordnung entsteht ein quadratisches B-Bild mit homogener Liniendichte. Mit einer Arbeitsfrequenz von >5 MHz besitzt er eine geringe Eindringtiefe aber hohe örtliche Auflösung (Jenderka & Delorme, 2018). Nach Grassi, Filippucci, Farina und Cervini (2000) liegt diese von hochfrequenten Ultraschallgeräten bei <0.2 mm (7.5 MHz bis 10 MHz). Sehr hohe 20 MHz Transducer können sogar eine Auflösung von 0.038 mm erreichen und geben somit noch besseren Einblick in die Anordnung der Kollagenbündel (Grassi et al., 2000). Dies entspricht der Auflösungsfähigkeit in der Größenordnung der Faserbündel einer Sehne (Kapitel 3.1.2.,

Abbildung 6). Allgemein werden Flüssigkeiten (hypoechogen) dunkel abgebildet, feste Stoffe wie Knochen hell (hyperechogen). Die Helligkeit richtet sich nach der Grösse, der Impedanz (nach Spektrum Akademischer Verlag (1998a) Schallwellenwiderstand genannt) mit der Umgebung (Reflexivität) und der Wellenlänge des Schallimpulses (Jenderka & Delorme, 2018).

3.6.3 Praktische Anwendung des Graustufen-Ultraschall bei Achillessehnenruptur

Bei der Anwendung des Ultraschalles zur Diagnosestellung oder der Untersuchung des Therapieverlaufes sollten folgende, in Tabelle 6 illustrierten Punkte beachtet werden, um eine gute Bildqualität zu erreichen.

Tabelle 6: Praktische Hinweise zur Ultraschalluntersuchung (Hirschmüller, 2018; Majewski et al., 2003; Rominger et al., 1998)

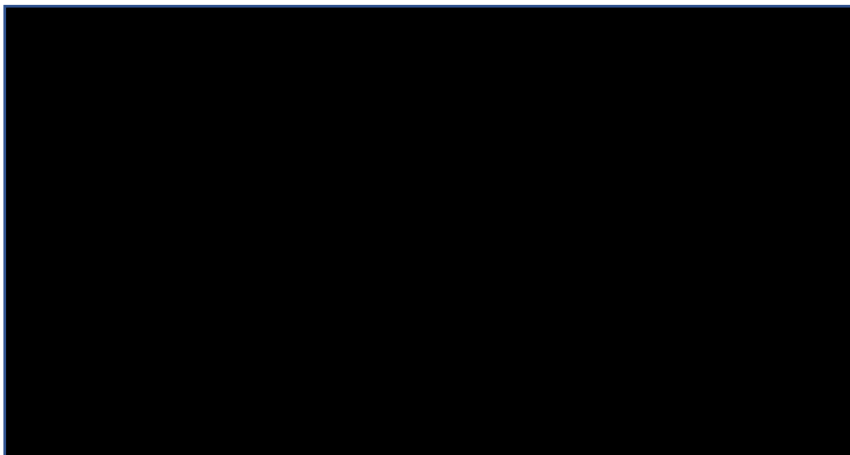
Zu beachtende Punkte bei Ultraschalluntersuchungen in der Praxis:	
•	Proband/in liegt in Bauchlage auf der Untersuchungsfläche
•	Füsse hängen von der Liege
•	Orthogonale Ausrichtung des Schallkopfes (Rominger et al. 1998; Majewski et al. 2003), orthogonal und leicht von mediale schallen (Hirschmüller, 2018)
•	Linearer Schallkopf mit Mindestauflösung von 7.5 MHz
•	Vorlaufstrecke von 1.5 cm (Majewski et al. 2003) bis 2 cm (Rominger et al. 1998) oder ausreichend Ultraschallgel (Hirschmüller, 2018)

Dabei ermöglicht die Lage des Patienten/der Patientin einen einfachen Zugriff der untersuchenden Person auf die oberflächliche Struktur der Achillessehne. Durch leichten Zug auf der Sehne werden (wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben) die Sehnenfasern parallel ausgerichtet, was die Beurteilung vereinfacht. Eine senkrechte Ausrichtung des Schallkopfes verhindert zudem unnötige Artefakte (Majewski, Lehmann, Dick & Steinbrück, 2003). Laut Dams, Reininga, Gielen, van der Akker-Scheek und Zwerver (2017) wird in der Literatur meist ein linearer Ultraschallkopf mit 7,5 MHz verwendet.

3.6.4 Beispiele gesunder Sehnen und Sehnenpathologien, die im Graustufen-Ultraschall sichtbar sind

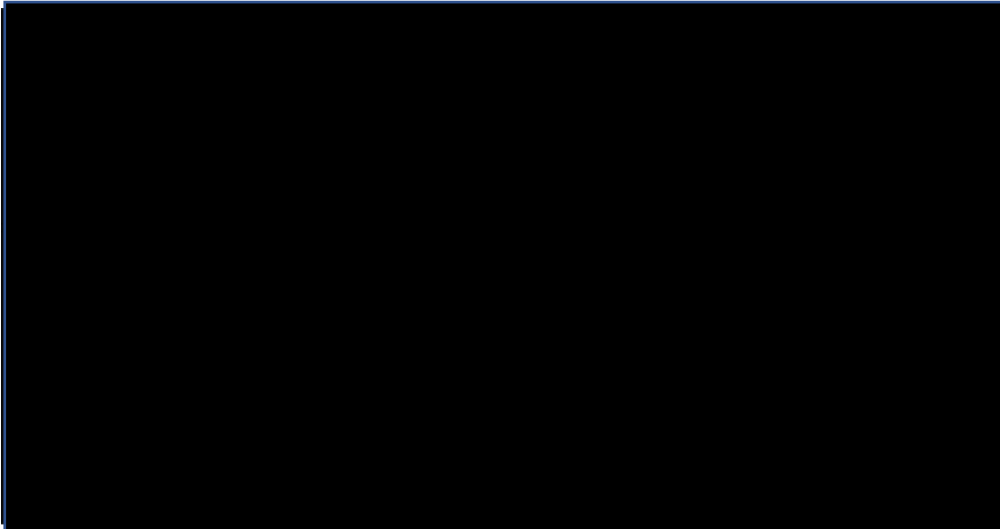
Die gesunde Sehne weist einen regulären Faserverlauf auf. Die Struktur der gesunden Sehne zeigt somit helle, dichte parallel angeordnete Binnenechos (Hirschmüller et al., 2017; Rominger, Bachmann, Schulte & Zedler, 1998). Eine gesunde Achillessehne ist in Abbildung 12 in longitudinaler Richtung (A) und transversaler Richtung (B) dargestellt (Syha et al., 2012). Die weissen Pfeile weisen auf die Grenzfläche der Achillessehne hin, wohingegen der weisse Stern auf die Grenze des os calcaneus zeigt. Im transversalen Schnitt zeigt sich die gesunde Sehne als oval bis runde Struktur, wobei die einzelnen Faserbündel als gleichmässig weisse Punkte darstellen (Grassi et al., 2000).

Abbildung 12: Gesunde Achillessehne im Longitudinalschnitt (A) und Transversalschnitt (B) (Syha et al., 2012)



Ist eine Sehne gerissen, kann dies sonographisch dargestellt werden, wie Abbildung 13 zeigt. Hierbei können die umliegenden Strukturen wie auch die Sehnenenden (A, B) bestimmt werden (Westin, Helander, Silbernagel, Möller, Kälebo und Karlsson, 2016).

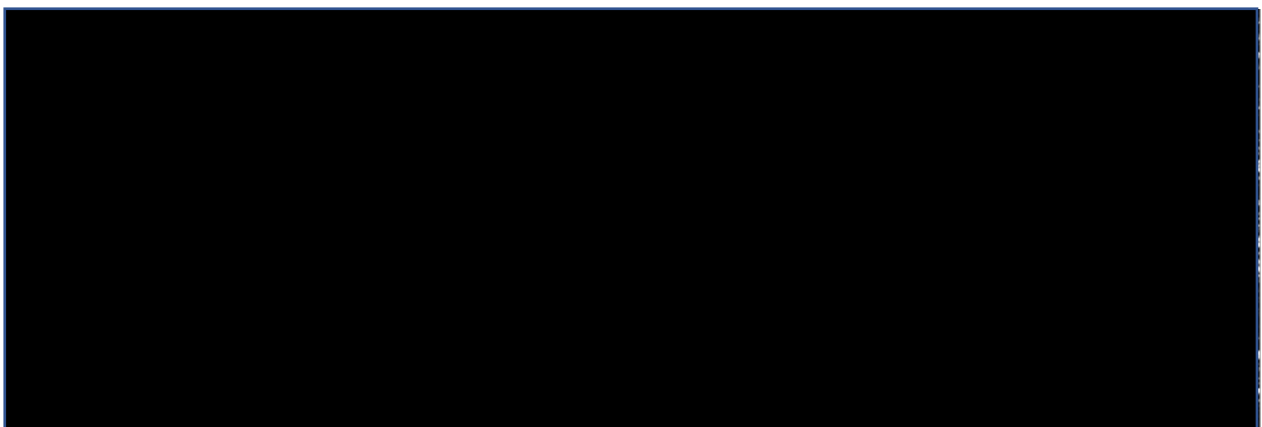
Abbildung 13: Komplette Achillessehnenruptur im hochauflösenden Ultraschall (Westin et al., 2016)



A & B: Sehnenenden, C: Calcaneus, F: Fettgewebe, FHL: M. flexor hallucis longus, S: M. soleus, Ta: anteriore Sehnenoberfläche, Tp: posteriore Sehnenoberfläche

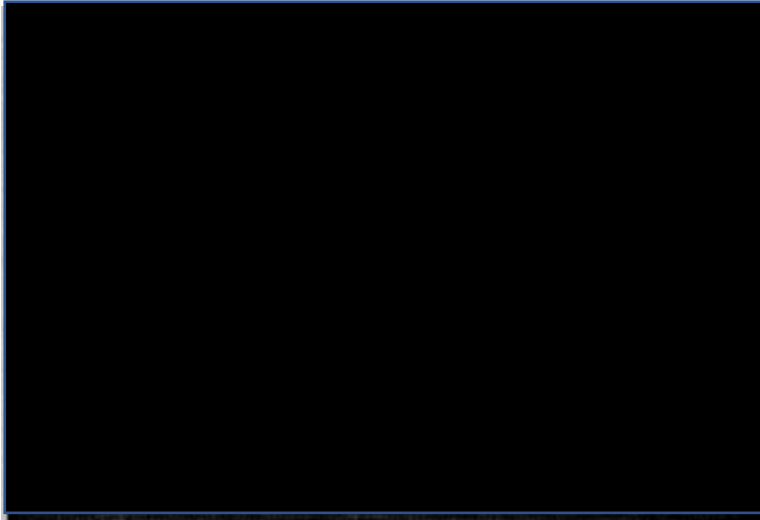
Wie in der untenstehenden Abbildung 14 links illustriert, zeigt sich die Rupturstelle (weisses Dreieck) bei einer Achillessehnenruptur als ein echoarmes irreguläres intratendinöses Areal (Sattler & Sattler, 2016). Die Sehnenenden zeigen eine vollständige Unterbrechung in ihrem Verlauf und die Enden zeigen sich wegen der Spannung der Sehnen als retrahierte, echoreiche und aufgefaserte Strukturen (Hirschmüller, 2017). Wie in Abbildung 14 rechts gezeigt, können sich die Enden in 20° Plantarflexion wieder schliessen, was somit eine konservative Nachbehandlung potentiell ermöglicht.

Abbildung 14: Ultraschall einer Achillessehnenruptur in 0° Flexion und 20° Plantarflexion (Konermann & Gruber, 2000)



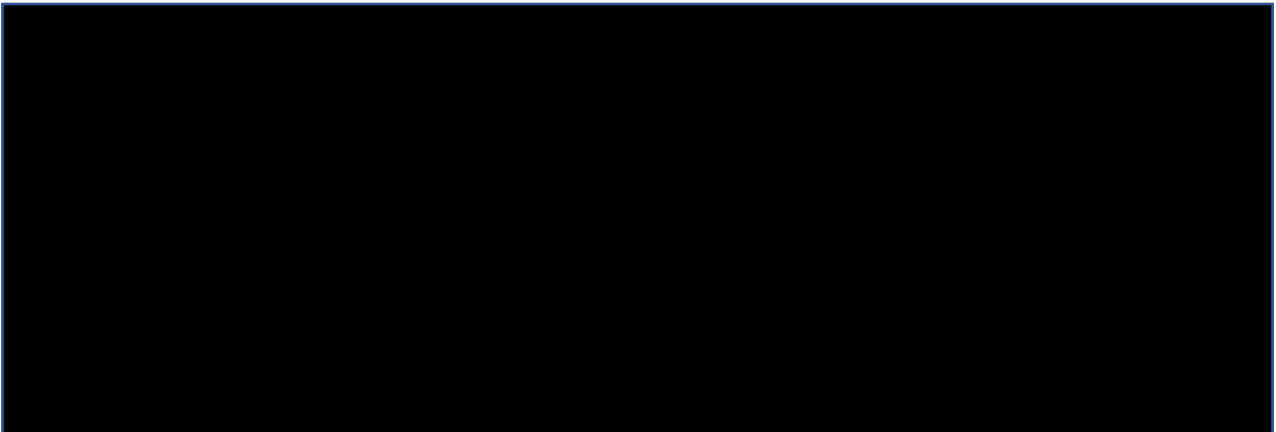
Partielle Rupturen der Achillessehnen wie in Abbildung 15 ersichtlich. Hierbei sind lokale Ödeme und Schwellung (hypoechoogene Gebiete) zu sehen. Zudem ist das *Peritendineum* verdickt (Kälebo et al., 1992). Die Sensitivität ist nach Kälebo et al. (1992) mit 0.94, die Spezifität mit 1.00 und die Genauigkeit mit 0.95 angegeben.

Abbildung 15: Partielle Ruptur (Kälebo et al., 1992)



Weitere pathologische Veränderungen der Sehne sind spindelförmige Ausdehnungen (Abbildung 16), die in der Regel für eine Degeneration sprechen (Hirschmüller, 2017).

Abbildung 16: Degenerative Sehne mit verdicktem Paratenon (+), Aufhebung der strengen Binnenstruktur (*) und Neovaskularisation (#, im B-Ultraschall nicht ersichtlich) (Hirschmüller, 2017)



Hierbei bilden Hypoechoogenitäten wahrscheinlich einen vermehrten Einbau von Proteoglycanen und Wasser ab (Hirschmüller, 2017). Zudem ist eine Veränderung der streng hierarchischen Faseranordnung sichtbar, hinter der allem Anschein nach ein Faserswitch von Typ I in Typ III Kollagen steckt und somit als weniger einheitliches Binnenecho sichtbar wird, so Hirschmüller (2017). Nach Hirschmüller (2017) können sie

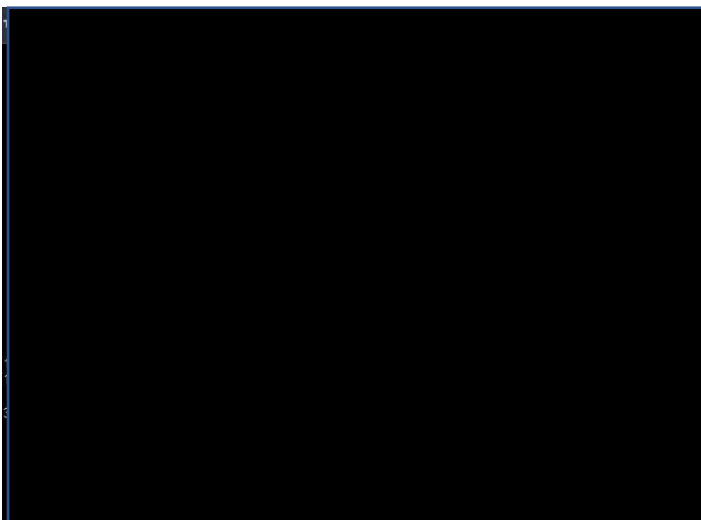
jedoch auch auf das Remodelling im Therapieverlauf hindeuten. In umgekehrter Reihenfolge wäre dies dann auch bei der Sonographie der Sehnenheilung anzutreffen. Ein verdicktes Paratenon (Abbildung 17, Pfeil) kann zudem ein Hinweis auf eine Paratendinose des Sehnengleitgewebes sein (Kästner, 2010).

Abbildung 17: Flüssigkeitslamellen bei verdicktem Paratenon (Kästner, 2010)



Kalzifikationen in der Sehne (Abbildung 18, Pfeil) werden als Hyperechogenitäten dargestellt, die durch Chondrocalzinosen, Fettstoffwechselstörungen (Xanthome) oder Gicht (Thophi / Harnsäurekristallablagerungen) entstehen können (Hirschmüller, 2017). Deshalb empfiehlt Hirschmüller (2017) in diesen Fällen immer auch nach den dahinterliegenden Erkrankungen wie Hyperurikämie, Hypercholesterinämie oder rheumatische Erkrankungen zu suchen.

Abbildung 18: Hyperechogene Regionen die auf Kalkablagerungen hindeuten (Kästner, 2010)



Pfeil: diffuse Hyperechogenitäten

3.6.5 Was soll beurteilt werden im Ultraschallbild

Generell gibt es in der Literatur noch keine Einigkeit über ein standardisiertes Verfahren zur Beurteilung des Ultraschallbildes bei Achillessehnen (Majewski et al., 2003; Möller, Käleb, Tidebrant, Movin & Karlsson, 2002; Kästner, 2010; Rominger et al., 1998). Können einzelne Pathologien schon exakt bestimmt werden, erschwert die inkonsistente Methodik eine gute Vergleichbarkeit. So zeigt das Review von McAuliffe et al. (2016) zwar schön, welche Parameter hauptsächlich betrachtet werden, jedoch sind diese meist nicht einheitlich definiert. Mehrheitlich werden dabei die Sehnendicke, Hypoechogenitäten oder die Vaskularisierung (benötigt Doppler-Ultraschall) betrachtet. Die Lokalisation der Messstelle zur Dickemessung der Sehne variieren zwischen 3cm (Kälbo et al., 1992) und 5cm (Chillemi et al., 2002) oberhalb der calcanearen Insertion, falls überhaupt angegeben (Majewski et al., 2003). Somit schient die Bewertung der Ultraschallbilder auch massgeblich von der klinischen Erfahrung des Betrachters abzuhängen. Generelle Punkte, die dabei beachtet werden sollten, sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Beurteilung der Achillessehne im Ultraschall

Faktoren die bei der Beurteilung der Achillessehnen im Ultraschall beachtet werden sollten:	
•	Beidseitige Sonographie der Achillessehne zur Vergleichbarkeit (Hirschmüller, 2018)
•	Longitudinalschnitt über ganzen Sehnenverlauf (Panoramafunktion) und Transversalschnitte an vordefiniertem Ort (Hirschmüller, 2018)
•	Vergleich Longitudinal mit Transversalschnitt, um Fehleranfälligkeit zu verringern (Grassi et al., 2000)
•	Binnenstruktur im Longitudinalschnitt (Auffälligkeiten)
•	Gleitverhalten der Sehne bei Plantarflexion und Dorsalextension (Majewski et al., 2003; Hirschmüller, 2018)

3.6.6 Rolle der Sonographie bei Achillessehnenrupturen

Laut Sattler und Sattler (2016) ist die Sonographie am Bewegungsapparat weit verbreitet in der Sporttraumatologie. Durch die Anwendung der Sonographie können verschiedene klinische Befunde wie chronische Tendinopathien, Insertionstendinopathien, Peritendinitis calcanei oder begleitende Bursitiden erkannt werden, die allesamt eine Ruptur der Achillessehne begünstigen können (Sattler & Sattler, 2016).

Der prädiktive Wert von Ultraschalluntersuchung konnte in Studien gezeigt werden. So zeigte eine Metaanalyse von McAuliffe et al. (2016) in vorwiegend sportlichen Populationen einen Zusammenhang zwischen bildgebenden Abnormitäten im Ultraschall und zukünftigen Symptomen in Achillessehne und Patellarsehnen-tendinopathien. Im Falle der Achillessehnen steigt das Risiko, Symptome zu entwickeln, um das Siebenfache, wenn Abnormitäten visualisierbar sind (McAuliffe et al., 2016). Jedoch weisen die Autoren

darauf hin, dass strukturelle Abnormitäten nur ein Faktor in der Entstehung einer Tendinopathie sind (McAuliffe et al., 2016).

Kommt es zu einer Ruptur der Achillessehne kann mittels Ultraschall eine komplette wie inkomplette Ruptur festgestellt werden (Krischak, 2009). Källebo, Allenmark, Peterson & Swärd (1992) konnten in ihrer Studie zeigen, dass inkomplette Rupturen mit einer Genauigkeit von 95% detektiert werden können. Anhand eines dynamischen Ultraschalles wird das Auseinanderklaffen der Rupturenden (Dehiszenz) beurteilt (Hofstätter et al., 2017; Sattler & Sattler, 2016). Dabei wird die Sehne in Neutralstellung und Plantarflexion sonographisch betrachtet (Hofstätter et al., 2017; Quack et al., 2013). Laut Hofstätter et al. (2017) lässt dies eine gute Aussage darüber zu, wie sich die Enden in maximaler Plantarflexion wiederfinden können. Westin et al. (2016) verglichen die Rupturlücken nach akutem Achillessehnenriss mittels Ultraschall. Sie fanden heraus, dass eine Dehiszenz von mehr als 10 mm einen hohen prädiktiven Wert für eine erneute Reruptur haben. Eine Dehiszenz von mehr als 5 mm bei konservativer Behandlung führte zu schlechterem funktionellem Outcome bezüglich Fersenhöhe und Symptomen (Achilles Tendon Total Rupture score). Somit wird bei einer Dehiszenz von > 5mm eine operative Nachbehandlung empfohlen (Westin et al., 2016). Ist diese geringer, kann die Achillessehne konservativ versorgt werden.

Die deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) empfiehlt in ihren aktuellen Richtlinien zum konservativen Verlauf einer Achillessehnenruptur, diese in der ersten Woche per Sonographie regelmässig zu überprüfen (Heining, 2018).

Wahrscheinlich dient dies dazu ein gutes Zusammenwachsen der Sehne zu überprüfen. Zudem wird empfohlen, sich auch beim Übergang zur Trainingsstabilität auf klinische und sonographische Untersuchungen zu stützen (Heining, 2018).

Für den Nutzen sonographischer Beurteilungen konnte ein Review von Dams et al. (2017) gefunden werden. Sie kommen zum allgemeinen Schluss, dass Ultraschall der Magnetresonanztomographie bezüglich Diagnose und Verlaufskontrolle vorzuziehen ist. Obwohl die bildgebenden Verfahren Einsicht in die Struktur und Heilung der Sehne geben können, konnten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Ultraschall und dem klinischen Bild hergestellt werden. Grund dafür sind eine fehlende signifikante Korrelation in einigen untersuchten Studien.

Bei detailliertem Studium einzelner dieser Studien konnten dennoch folgende Schlussfolgerungen, welche für einen Ultraschall sprechen, gefunden werden. Rominger et al. (1998) zeigten eine signifikante Korrelation zwischen Ultraschalluntersuchungen und klinischem Bild (allgemeine Beschwerden, Bewegungsschmerz, Funktionseinschränkung und sportliche Aktivitätsminderung) nach postoperativer Versorgung nach 6-78 Monaten bei 60 Patienten. Möller et al. (2002) konnten im Verlauf von 6-12 Monaten im Ultraschall signifikant weniger Ödeme und abnormale Befunde im Ultraschall feststellen. Jedoch korrelierten diese nicht mit den klinischen Parametern (isokinetische Kraft, Ausdauer, Achilles Tendon Total Rupture Score). Bezüglich der Heilung nach dem Riss konnten Hollenberger, Adams & Weinberg (2000) die Struktur der Achillessehne 48h nach Ruptur mit 22.4 (7-38 Monate) Monaten nach abgeschlossener konservativer Therapie vergleichen. Initiale Veränderungen wie der akute Riss, das Hämatom, die Rupturlücke oder die gestörte Sehnenstruktur waren nach 22 Monaten nicht mehr ersichtlich. Erste Erfolge der Heilung zeigten sich in einer nur noch leicht gestörten Verzerrung der Faserausrichtung, anterioren Ausdellungen oder Irregularität der Sehnenköpfe und hypoechogenen Bereichen an der Rupturstelle mit gelegentlichen Kalzifikationen. Hufner, Brandes, Thermann, Richter, Knobloch & Krettek (2006) konnten schon am 4. Tag der konservativen Behandlung das Zusammenfinden der Sehnenenden im Ultraschall zeigen. Nach 4 Wochen war die Rupturstelle noch klar ersichtlich und in der Rupturzone die Enden immer noch zusammenhängend, was auf eine teilweise Heilung schließen lässt. Nach 3 Monaten zeigte sich die Sehne recht homogen, jedoch war der Durchmesser sichtlich verdickt. Eine solche Zunahme der Sehnendicke zeigte auch die Studie von Majewski et al. (2003). Sie zeigten über alle untersuchten Gruppen (perkutane -, offene Operation und konservative Behandlung) hinweg eine Zunahme der Sehnendicke. Diese stieg in der Summe seit der Ruptur von der 4., 8., 12. bis zur 26. Woche stetig an und verblieb 2.5 Jahre nach der Ruptur noch erhöht gegenüber dem Wert der gesunden Seite. Daraus folgerten sie, dass dieser Verlauf ein guter Marker für die Heilung der Sehne darstellt, da er nach Meinung der Autoren gut mit der Literatur übereinstimmt.

4 Resultate

In diesem Abschnitt werden zuerst ausgewählte Ultraschallbilder im Longitudinalschnitt beschrieben. Danach wird kurz der physiotherapeutische Verlauf mit dem konservativen Standardverlauf (Tabelle 5) verglichen, um sicherzustellen, dass das vorliegende Training den Vorgaben entspricht. Anschliessend werden spezifische Auffälligkeiten im physiotherapeutischen Verlauf mit den Ergebnissen der Ultraschallbilder verglichen.

4.1 Deskriptive Beschreibung der Longitudinalschnitte nach 6 bis 24 Wochen

In Abbildung 19 (A bis E) sind die Longitudinalschnitte von 6 bis 24 Wochen nach dem Unfall einander gegenübergestellt. Zum Vergleich wurde ein Schnittbild der Gegenseite hinzugefügt (Abbildung 19, F). Die nicht-betroffene Seite zeigt eine klare Abgrenzung der Sehne zum umliegenden Gewebe. Ein gut strukturierter horizontaler Faserverlauf ist ersichtlich, ähnlich wie in Abbildung 12. Es sind auch einige Auffälligkeiten wie Flüssigkeitslamellen (Abbildung 19, K) und diffuse hyperechogene Regionen (Abbildung 19, L) identifizierbar.

Nach 6 Wochen zeigt die betroffene Seite (Abbildung 19, A) im Gegensatz zur nicht-betroffenen Seite eine verringerte horizontale Faserausrichtung mit teilweisen Diskontinuitäten (dunkle Areale). Diese dunklen Areale sind jedoch nicht wie in Abbildung 13 komplett diskontinuierlich, sondern deutlich zurückgezogen und weisen immer wieder schwache, gräuliche Übergänge auf. Zudem sind ein verdicktes Paratenon, wie auch die Rupturenden (Abbildung 19, G & H) sichtbar. Weiter unten sind schlecht sichtbar noch diskontinuierliche Muskelfasern erkennbar. Abbildung 13 legt nahe, dass es sich um gerissene Muskeln des M. soleus oder M. flexor hallucis longus handelt.

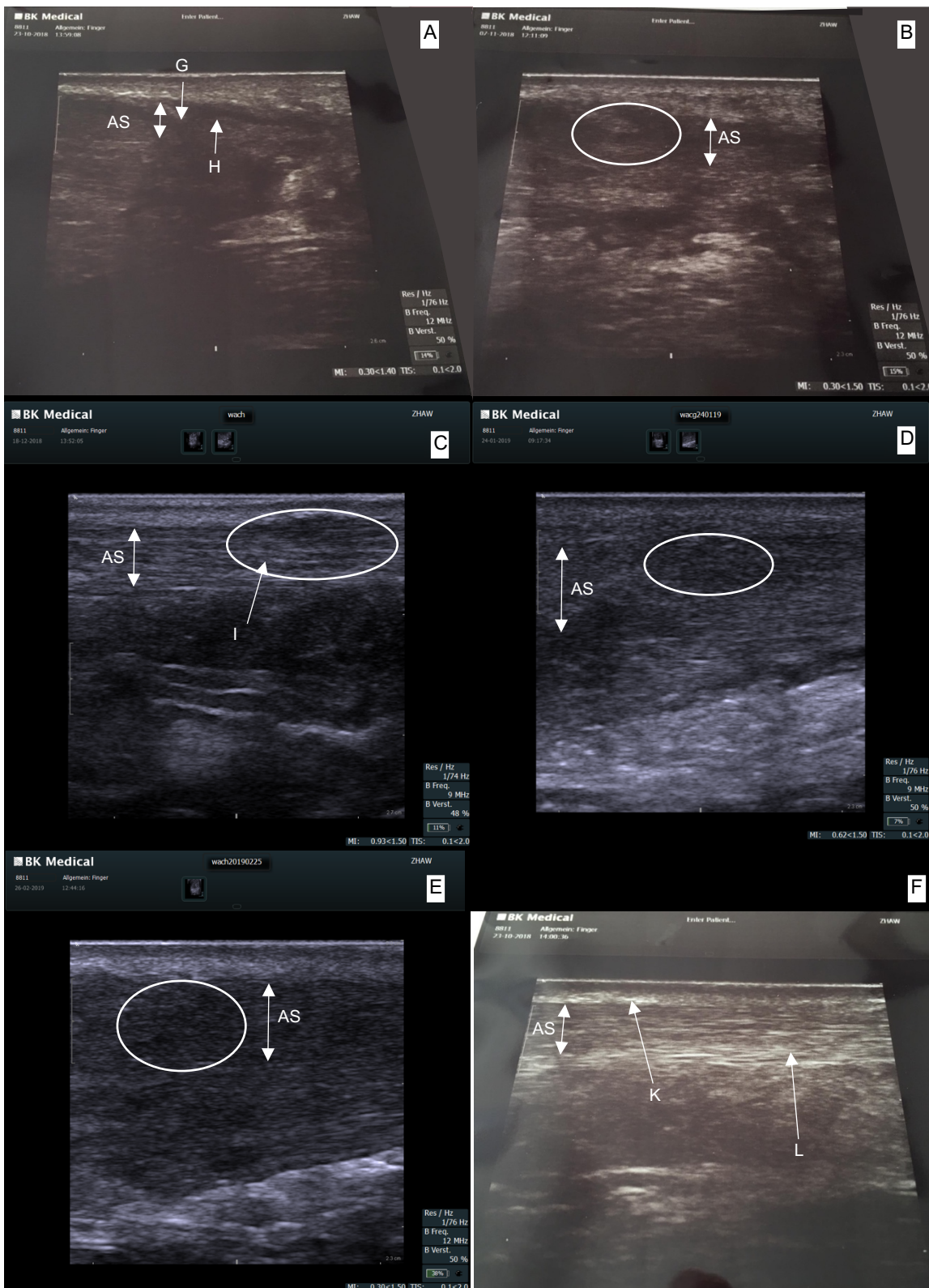
Nach 8 Wochen ist die Ruptur nicht mehr klar ersichtlich. Hypoechogene Regionen nehmen weiter ab und im Verletzungsgebiet werden zunehmend inhomogene Gebiete (weisser Kreis) erkennbar. Dies ähnelt der Strukturierung in Abbildung 9. Unterhalb der Sehne scheint sich auch der Muskel wiederaufzubauen.

Nach 14 Wochen zeigt sich die Sehne verdickter mit inhomogenen Bereichen (Abbildung 19, C, weisser Kreis). Darin sind teilweise Strukturunterbrechungen (Abbildung 19, I) identifizierbar.

Die Aufnahmen zu den Zeitpunkten 19 und 24 Wochen nach dem Unfall sind deutlich schlechter bezüglich der Abgrenzbarkeit zum umliegenden Gewebe (Abbildung 19, D & E). Dennoch scheint verglichen zu den Zeitpunkten 6 und 8 Wochen nach dem Unfall eine

deutlich bessere Strukturierung erkennbar zu sein. Die Inhomogenitäten aus Abbildung 19 (C) scheinen sich etwas reduziert zu haben (weisser Kreis) und strukturieren sich danach etwas geradliniger nach 24 Wochen (Abbildung 19, E, weisser Kreis). Ein klarer horizontaler Faserverlauf wie in Abbildung 19 (F) ist aber noch nicht ersichtlich. Über den ganzen Verlauf der ersten 6 Monate nach dem Unfall (Abbildung 19, A-E) ist eine deutliche Änderung an der Läsionsstelle auszumachen. Es ist eine zunehmende Strukturierung des horizontalen Faserverlaufes zu sehen, die mit einer Rückbildung der hypoechogenen Areale einhergeht.

Abbildung 19: Sonographischer Longitudinalschnitt der "Midportion" der Achillessehne 6 bis 24 Wochen nach dem Unfall und nicht-betroffene Gegenseite



A: 6 Wochen nach dem Unfall; B: 8 Wochen nach dem Unfall; C: 14 Wochen nach dem Unfall; D: 19 Wochen nach dem Unfall; E: 24 Wochen nach dem Unfall; F: nicht-betroffene Gegenseite 6 Wochen nach dem Unfall; weisse Pfeile: AS: Achilles Sehne, G & H: Sehnenenden, I: inhomogenes Feld, K: Flüssigkeitssaum, L: diffuse Hyperechogenitäten, weisse Kreise: interessante Zonen

4.2 Vergleich der physiotherapeutischen Nachbehandlung des Fallbeispiels mit dem exemplarischen Nachbehandlungsschema

Alle physiotherapeutischen Interventionen mit der Patientin waren nachvollziehbar, progressiv aufbauend und konnten den Behandlungszielen in Tabelle 5 zugeordnet werden. Generell kann gesagt werden, dass die Patientin zu Beginn (1. bis 9. Woche) noch sehr gut im Zeitplan der Behandlung lag, wobei die ambulante Therapie erst nach 5.5 Wochen begann (Anhang C). Dies zeigt sich darin, dass die Interventionen der Probandin, den Zielen der gleichen Zeitspanne in Tabelle 5 zugeordnet werden konnten. Jedoch ist anzumerken, dass die Stöcke über eine lange Zeit gebraucht worden sind (ca. 8 Wochen). Dies scheint dem Verfasser verglichen zu anderen Behandlungen der unteren Extremität etwas lange zu sein, jedoch fehlen ihm konkrete Vergleichswerte. Das Behandlungsschema spricht hier von „Stockfreiem Laufen sobald wie möglich“ (Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019). In der zweiten Phase (10. bis >17. Woche), in der kontrollierte Übungen erlaubt sind, fällt die Patientin zunehmend im Zeitplan etwas zurück. Dies ist beispielsweise am hinkfreien Gehen ersichtlich, welches optimaler Weise in der 10.-12. Woche hätte erreicht werden sollen (Tabelle 5), aber erst nach 15.5 Wochen möglich war (Anhang C). In dieser Zeitspanne wäre neben hubvollem konzentrischem Training auch hubvolles exzentrisches Training der Wadenmuskulatur geplant gewesen. Nach 15.5 respektive 16.5 Wochen war aber erst hubvolles konzentrisches Training möglich. Die Keilreduktion ereignete sich weitgehend nach dem exemplarischen Verlauf (Kapitel 3.5.1) mit Ausnahme der Keilreduktion auf 1 cm nach 7 statt 8 Wochen und der Keilentfernung nach 13 statt 12 Wochen.

Nach Ansicht des Autors kann dieser Verlauf trotzdem im Rahmen normaler Abweichungen in der Praxis angesehen werden. Somit schränkt dieser nicht den Heilungsverlauf ein oder beeinflusst diesen spezifisch.

4.3 Vergleich des physiotherapeutischen Verlaufes mit der Bildgebung

Der Keilabbau von 3 cm auf 1 cm im Zeitfenster von 6 bis 8 Wochen nach dem Unfall (Abbildung 1) geht einher mit einer besseren Strukturierung der Faserausrichtung (Abbildung 19 A & B). Eine weitere noch deutlichere Faserausrichtung von 8 bis 14 Wochen nach dem Unfall (Abbildung 19 B & C) ist in Übereinstimmung mit der kompletten Entfernung des Keils und einer Erhöhung der Belastung, durch isometrischem hubvollem Zehenstand, mit Erweiterung der Gewichtsbelastung auf das verletzte Bein und indirekten Zug an der Achillessehne, durch Aktivierung des M. peroneus in offener Kette (Anhang C). Eine vermehrte Strukturierung horizontaler Fasern zwischen der 14 und 19 Wochen nach dem Unfall (Abbildung 19, weisse Kreise in C & D) stimmt mit einer gesteigerten Belastung der Achillessehne durch vermehrte Aktivierung des M. soleus („calf raises“ mit flektiertem Knie), Gewichtserhöhung von „calf raises“ im Sitzen und repetierten, hubvollen Zehenspitzenstand überein (Anhang C).

Im Gegenzug geht die Periode 19 bis 24 Wochen nach dem Unfall, neben physiotherapeutischen Reizen, vermehrt mit negativen Reizen wie unerklärlichen diffusen Schmerzen (wahrscheinlicher Fibromyalgie, Anhang C) und zweiwöchiger Grippepause einher. Dies kann mit der nur noch geringen Verbesserung der Strukturierung der Fasern zusammenhängen, wie sie in Abbildung 19 D bis E ersichtlich ist.

Über den ganzen Zeitraum betrachtet zeigen sowohl der physiotherapeutische Verlauf als auch die Bildgebung, Verbesserungen der Sehnenstrukturierung auf, welche miteinander vereinbar sind. Veränderungen aufgrund einzelner Übungen innerhalb der ersten 6 Monate konnten jedoch in der Bildgebung nicht dargestellt werden.

5 Diskussion

Die wichtigsten Resultate aus den vorliegenden Daten sind, dass (i) ein Wundheilungsverlauf im Ultraschall sichtbar ist, (ii) dieser mit der Progression der physiotherapeutischen Behandlung (Keilabbau und physische Behandlung) vereinbar ist und (iii) Belastungen- und Entlastungen den Heilungsverlauf möglicherweise beeinflussen können. Im folgenden Kapitel werden zuerst die ausgewählten Bildsequenzen mit den Wundheilungsphasen und deren physiologischen Gegebenheiten verglichen. Danach werden die bildgebenden Veränderungen anhand der physiotherapeutischen Interventionen diskutiert. Im Weiteren folgen allgemeine Limitation der vorliegenden Arbeit und Kritik zu Verbesserungen der Erhebung und der Daten.

5.1 Interpretation der ausgewählten Bildsequenzen bezüglich

Wundheilungsphasen

Die auf der Gegenseite bestimmten Anomalien wie Flüssigkeitslamellen und wolkigen hyperechogenen Regionen deuten laut Kästner (2010, Abbildung 17, Abbildung 18) auf Pathologien der Sehne und Kalzifikationen hin, wie sie bei rheumatischen Erkrankungen vorkommen können (Hirschmüller, 2017). Somit scheinen die Sehnen schon etwas angeschlagen zu sein, was eine Ruptur begünstigt (Krischak, 2009).

Die grauen Teilverbindungen im Rupturbereich nach 6 Wochen deuten durch die etwas diffusere und unklarere Ausrichtung eher auf unstrukturierteres Kollagen Typ III hin und können somit als Hinweis einer beginnenden Schliessung und Überbrückung der Sehnenenden angesehen werden. Dies spricht für erste Anzeichen eines post-traumatischen Heilungsprozesses. Im Gegensatz zu Abbildung 13 ist die Restflüssigkeit im Verletzungsgebiet schon reduziert. Diese Restflüssigkeit könnte durch ein noch bestehendes Ödem verursacht sein, da die Sehne ja nur sehr schlecht durchblutet ist (Kapitel 3.1.2). Auch sind Reste einer Einblutung der gerissenen Muskeln, die als Diskontinuitäten unterhalb der Achillessehne ersichtlich sind, denkbar. Da sich die Patientin nach Schneider et al. (2018) gerade zwischen Ende Proliferationsphase und Beginn des Remodelling befindet, könnten die hypoechogene Areale auch auf eine erhöhte Matrixproduktion in der Proliferation hinweisen, oder aber einer vermehrten Bildung von Grundsubstanz, die von Fibroblasten gebildet wird (van den Berg, 2011), mit nachfolgender Wassereinlagerung zu Grunde liegen. Dies würde mit Hirschmüller (2017) übereinstimmen, da Hypoechogenitäten als vermehrter Einbau von Proteoglycanen und

Wasser bei degenerativen Veränderungen interpretiert werden oder auf ein Remodelling hinweisen können.

Nach Schneider et al. (2018) sind wir nach 8 Wochen im Remodelling angekommen. Somit spricht eine Abnahme der Hypoechogenitäten für eine verminderte Zellzahl und Matrixproduktion (Abbildung 9). Die vermehrten grauen Bereiche widerspiegeln höchst wahrscheinlich den zunehmenden Einbau von Kollagen Typ III. Die etwas wolkige Struktur ähnelt zudem der Zeichnung vom Remodelling in Abbildung 9, wo die beiden Fasern ineinander überlaufen.

Nach 14 Wochen ist eine Verdickung der Sehne erkennbar, was nach Majewski et al. (2003) ein guter Marker für eine Sehnenheilung darstellt. Der Aufhebung der strengen Binnenstruktur in Abbildung 19 (C, weisser Kreis) liegen laut Hirschmüller (2017) die unstrukturierten Typ III Fasern zugrunde.

Die weitere Verdrängung hypoechogener Gebiete in den Wochen 19 und 24 scheinen der vermehrten Typ I Kollagensynthese und dem Crosslinking zu Grunde zu liegen (Syha et al., 2012). Der Unterschied dieser zwei Bildsequenzen ist nicht mehr so gross, was bezüglich der Wundheilung daran liegen könnte, dass die Maturierungsphase gemäss Schneider et al. (2018) mit dem vermehrten Umbau in Typ I Fasern zusammenfällt und dies zeitlich am längsten braucht (Kapitel 3.4).

Bezüglich der ersten Hypothese ist somit zu sagen, dass die verschiedenen Bildsequenzen den Wundheilungsphasen zugeordnet werden konnten. Jedoch geschah dies nicht so einfach wie aus der Literatur erwartet (Kapitel 3.6.4). Das hat sicherlich mit der Qualität der Bildsequenz zu tun, welche sehr weit gezoomt ist und somit eine klare Zuordnung der Strukturen nicht eindeutig zulässt (für mehr siehe Limitationen im Kapitel 5.4).

5.2 Interpretation des physiotherapeutischen Verlaufes mit dem exemplarischen Verlauf und der Bildgebung

Das nach anfänglich gutem zeitlichem Verlauf, die Probandin verglichen mit dem exemplarischen Verlauf etwas zurückgefallen ist, kann wie folgt begründet werden. Je weiter fortgeschritten die Zeit seit dem Unfall ist, desto sportlicher können die Aktivitäten sein. Bei einem Therapieschema einer so grossen Institution wie dem Inselspital ist das Schema neben älteren Leuten, sicherlich auch auf das Training mit jüngeren Sportlern ausgelegt. Somit ist es nachvollziehbar, dass unsere Probandin, als 48-jährige Mutter und Hobbysportlerin, vor allem im weiteren Verlauf relativ zu den Vorgaben zurückliegt. Neben weniger sportlichen Ambitionen können auch die vielen Schmerzen (in 12 von 14 Sitzungen angegeben), die Angst vor dem Keilabbau, oder das gelegentliche Nichtüben (zweimal vermerkt) den Verlauf etwas verlangsamt haben. Zusätzlich trägt die medizinische Situation der Probandin mit der Diagnose Fibromyalgie, welche ihr immer wieder Gelenkschmerzen verursacht (eventueller Fibromyalgie-Schub, Anhang C), wie auch die Nebendiagnose Depression eher zu einem verlängerten Therapieverlauf bei. Diese eben genannten Faktoren könnten auch erklären, wieso die Patientin so lange von Stöcken abhängig war.

Die durch den Physiotherapeuten umgesetzten und im Procedere determinierten Keilreduktionen lassen immer auch Handlungsspielraum, um auf das aktuelle Befinden der Patientin innerhalb der Therapiesitzung einzugehen. Somit ist es legitim, den Keil eine Woche früher rauszunehmen, falls dieser von der Patientin toleriert und durch den Behandlungsverlauf angezeigt ist. Andernfalls kann der Keil von der Patientin jederzeit wieder in den Schuh eingesetzt werden.

Im Einklang mit der sonographischen Bildgebung zeigt sich auch der physiotherapeutische Verlauf, als Ganzes betrachtet, als progressiv. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die dafür nötigen Reize auf das Gewebe appliziert wurden. Diese bestehen laut van den Berg (2011) in der Proliferationsphase vor allem aus physiologischen Belastungen, so dass es nicht zu Narben im Sinne von Ablagerungen der Kollagenfasern ohne bestimmte Ausrichtung kommt. Auch soll die Durchblutung des Gewebes durch leichte Bewegung gesteigert werden. Dabei stimulieren die durch mechanische Verformung auftretenden Ladungsänderungen (piezoelektrischer Effekt) die Synthesefähigkeit der Zellen positiv

(Basset & Pawluk 1989, zit. nach Bant & van den Berg 2011). Dies könnte zu den Veränderungen in Abbildung 19 (A) und (B) beigetragen haben. Im Remodelling steht dann ein Umbau der Fasertypen an, welcher therapeutisch durch steigende Belastung in der Wirkungslinie des Gewebes unterstützt wird. Die Zellen reagieren darauf mit vermehrter Synthese von Kollagen Typ I, um die Belastbarkeit zu steigern (van den Berg, 2011). In der Bildgebung ist dies vor allem durch bessere Strukturierung der Fasern ersichtlich (Abbildung 19, C-E). Dass trotz weiterem Training nur geringe Veränderungen der Strukturierung zwischen Woche 19 und Woche 24 ersichtlich waren, könnte mit der grippebedingten Minderbelastung einhergehen. Somit wären weniger deutliche Veränderungen der Faserausrichtung im Ultraschallbild sichtbar. Wie im Kapitel 3.2.1 von Tabary (1972, zit. nach van den Berg & Cabri, 2003) erwähnt, nimmt die Belastbarkeit der Sehne schon nach kurzer Immobilisation erheblich ab.

Limitiert werden diese Annahmen jedoch dadurch, dass in der Zeit neben der Therapie noch viele weitere Variablen (z.B. Alltagsbelastungen), die hier unbekannt waren und nicht berücksichtigt wurden, einen Einfluss auf die Heilung haben können. Zudem sind keine anderen zeitnahen Ultraschallbeispiele bekannt, welche einen Vergleich ermöglichen würden.

Eine weitere limitierende Rolle für die Interpretation spielt die Aufnahmequalität und Bildfokussierung (mehr dazu in Kapitel 5.4). Die vorliegenden Bilder sind in ihren Strukturen zu ungenau abgrenzbar und die beteiligten physiologischen Prozesse zu komplex, um Effekte einzelner Übungen sonographisch zu detektieren.

Ob, wie in der zweiten Hypothese vermutet, trainingsbedingte Veränderungen folglich im Graustufen-Ultraschall nachweisbar sind, kann aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Es macht den Anschein, dass es im grossen Ganzen möglich sein könnte. Dies ist im Einklang mit Dams et al. (2017) die in ihrem Review zum Schluss kommen, dass die Bildgebung die Strukturen und den Heilungsprozess aufzeigen kann, diese Befunde aber ungenügend mit dem klinischen Bild übereinstimmen.

Aus der Literatur ist jedoch ersichtlich, dass bis jetzt grosse Intervalle zwischen den Zeitpunkten gewählt wurden (6 bis 78 Monate), um positive Resultate hervorzubringen (Hollenberg et al., 2000; Möller et al., 2002; Rominger et al., 1998). Bezüglich des minimalen Zeitpunktes zum Nachweis von Veränderungen der Sehne mit Graustufen-

Ultraschall konnten keine Studien gefunden werden. Nach van den Berg & Cabri (2003) benötigt ein Wiederaufbau der Sehnenbelastbarkeit 4 bis 12 Monate.

5.3 Vergleich mit den Ergebnissen in der Literatur

Die in Abbildung 19 (F) mutmasslich entdeckten initial pathologischen Veränderungen der Achillessehne stimmen mit dem klinischen Bild überein. Dies ist wahrscheinlich, da Tendinopathien meist bilateral erscheinen (Schepisis et al., 2002). Zudem ist der Unfallhergang bei Stop-and-go Aktivitäten exemplarisch (Mayer & Siems, 2011). Auch ist das Knirschen der Achillessehnen, wie von der Patientin beschrieben, nach Feilmeier (2017) ein Zeichen einer Tendinopathie. Eine initial komplette Ruptur wäre denkbar, da sich diese, wie bei der Patientin, klinisch durch Gehunfähigkeit und einen lauten Knall bei der Ruptur äussert. Hinweise dazu könnte Abbildung 19 (F) geben, durch gerissene Muskelstränge, wobei jedoch ein initialer Bildnachweis fehlt.

Eine positive Korrelation (Rominger et al., 1998) oder negative Korrelation (Möller et al., 2002) mit dem klinischen Bild konnte aufgrund der Datenlage nicht bestimmt werden, da auch spezifische klinische Tests dazu nicht durchgeführt wurden. Zudem sind die Daten aus der Literatur nur schwer vergleichbar mit den unseren, da sie sich ausschliesslich auf den Zeitpunkt 6 Monaten nach dem Ereignis beziehen. Die Ergebnisse von Hufener et al. (2006) (Kapitel 3.6.6) stimmen teilweise mit unseren Erkenntnissen überein. So ist bei unseren Daten die Sehne auch verdickt sichtbar, aber noch nach 6 Wochen eine Rupturstelle ersichtlich. Ein Zusammenwachsen der Rupturenden ist nicht eindeutig ersichtlich, auf Grund des weiteren Verlaufes kann jedoch davon ausgegangen werden. Die Faserausrichtung ist dagegen nach 14 Wochen erst teilweise homogen. Eine Aussage über die Sehnendicke im Verlauf, die laut Majewski et al. (2003) einen guten Marker für den Heilungsverlauf darstellt, konnte bei unseren Daten noch nicht nachgewiesen werden.

Die dritte Hypothese, ob der Ultraschall sich eignet, das physiotherapeutische Assessment zu unterstützen, kann noch nicht klar beantwortet werden. Bis jetzt wird er vermehrt zur Klärung anatomischer Gegebenheiten bei frischen Rupturen (Hofstätter et al., 2017; Sattler & Sattler, 2016) oder zur Indikation der konservativen Therapie (Westin et al., 2016) verwendet. Eine Diagnostik verschiedener Pathologien an der Achillessehne ist jedoch schon möglich (Sattler & Sattler, 2016). Zudem gibt es Expertenempfehlungen für

eine vermehrte Nutzung der Sonographie im Therapieverlauf (Heining, 2018). Zukünftige Entwicklungen spielen der Sonographie jedoch zu und werden in Kapitel 7 kurz umrissen.

5.4 Limitationen

Die grösste Limitation der explorativen Beobachtungsstudie liegt in der sehr geringen Stichprobengrösse ($n = 1$). Dies liegt im Vergleich mit anderen Ultraschallstudien weit zurück. Die im Review von Dams et al. (2017) erwähnten Studien über Ultraschall (25 Studien) hatten eine durchschnittliche Teilnehmerzahl von 60.5 [4 , 273] Teilnehmern. Als Folge lassen sich die Resultate keineswegs verallgemeinern, noch kann sicher ausgeschlossen werden, dass es sich um rein zufällige Befunde handelt. Dennoch dürfen diese Beobachtungen im Sinne eines Einzelfalles beschrieben und mit der Literatur verglichen werden. Wichtig ist auch, dass die Bilder nur in ihrem Kontext (physiotherapeutischer Verlauf, Wundheilung, Keilabbau) interpretiert werden können. Die Auswahl der Patientin mit einer rheumatischen Grunderkrankung (Fibromyalgie) ist kritisch. Dies da die Ursachen des Krankheitsbildes noch weitgehend unbekannt sind (Atzeni et al., 2019; Wolfe et al., 2016) und es unklar ist, wie sich diese auf die Achillessehne und ihre Heilung auswirken können. Nach Ansicht des Verfassers sollte dieses Krankheitsbild bei erneuter Untersuchung der Thematik somit ausgeschlossen werden. Ein weiterer limitierender Faktor ist die von der klinischen Erfahrung abhängige Beurteilung und die Erstellung der Bildsequenzen (Sattler & Sattler, 2016). Zur Objektivierung der Messungen von Läsionsstellen sollte im Vorhinein die Läsionsstelle exakt determiniert werden (Chillemi et al., 2002; Kälbo et al., 1992), was hier nur visuell an der Patientin erfolgte. Durch Erfahrungsmangel wurde die Bildaufnahme nur laienhaft durchgeführt, verglichen mit geübten Rheumatologen und Sportärzten, was die Aussagekraft im Allgemeinen vermindert. So fehlen gelegentlich beidseitige Messzeitpunkte, die Panoramafunktion wurde nicht durchgeführt und das Gleitverhalten der Sehnen im Longitudinalschnitt nicht aufgezeichnet (vgl. Tabelle 7). Letztlich erschwert die späte Aufzeichnung der ersten Ultraschallbilder (1. Bild nach 6 Wochen) Vergleiche mit dem Heilungsverlauf. So fehlen Bilder der ganzen Entzündungsphase und ein Grossteil der Proliferationsphase zum Vergleich. Damit entgeht dem Heilungsverlauf die initiale Ausgangssituation.

6 Theorie-Praxis Transfer

Der Arbeit ist zu entnehmen, dass sich Übungen nur in Summe bildgebend darstellen lassen. Dementsprechend ist der direkte Transfer von Effekten von der sonographischen Bildgebung in die Praxis erschwert. Ziel der Bildgebung und der physiotherapeutischen Übungsauswahl sollte es jedoch sein, die Wundheilungsphasen möglichst problemfrei zu begleiten. Da strukturelle Veränderung, die in der Bildgebung ersichtlich sind, im Wesentlichen den Stufen der Wundheilung zugeordnet werden können (eigene Daten, Dams et al., 2017), könnte eine zusätzliche sonographische Untersuchung trotzdem nützlich sein. Dies in vermehrtem Masse in denjenigen Fällen, bei denen es klinisch zu Schwierigkeiten im Behandlungsverlauf kommt (z.B. diffuse Schmerzen, Trainingsplateaus, Übertraining). Denkbar wäre die Bildgebung auch als Entscheidungshilfe bei der Rückkehr zum Sport. Da dies zeitlich in der Remodellierungsphase geschieht, ist der Ultraschall bezüglich Interpretation und Sichtbarkeit der Strukturen eindeutiger als in den frühen Wundheilungsphasen, bei denen sich verschiedene physiologische Ereignisse überlappen.

Für die Praxis ist auch eine korrekte und einheitliche Bildaufnahme essenziell. Auf Ressourcen schonende Weise zeigt die vorliegende Arbeit am Einzelfallbeispiel Erfolgreiches und Lücken der bisherigen Durchführung auf. Verglichen mit der Literatur (Tabelle 6) entspricht die Vorgehensweise zur Erstellung der Bilder den Anforderungen und die gängige Mindestauflösung von 7.5 MHz wird übertroffen (Dams et al, 2017). Zukünftig soll vermehrt auf eine Vereinheitlichung des Bildzooms bei einheitlicher, maximaler Bildauflösung (Kapitel 3.6.2) geachtet werden, damit strukturelle Unterschiede besser verglichen werden können. Zusammen mit der Anwendung der Panoramafunktion (Abbildung 12, Abbildung 13) würde die Zuordnung der Strukturen im Läsionsgebiet und die Messbarkeit von Sehnenbestandteilen dadurch visuell erheblich vereinfacht. Zusätzlich garantiert dies, dass keine wichtigen Strukturen durch den Bildzoom verpasst werden. Mit Hilfe der fundierten Recherche dieser Arbeit und der gesammelten Erfahrung des Einzelfalles lassen sich diese Erkenntnisse nun in die Praxis umsetzen.

7 Ausblick

Angesichts der geringen Fallzahl und der damit verbundenen limitierten Aussagekraft sollten weitere Studien durchgeführt werden, um mit Sicherheit klären zu können, inwieweit Belastungszunahmen und -abnahmen im Ultraschall erkennbar sind.

Studien über die Phase innerhalb der ersten 6 Monate könnten hier vielversprechende Daten liefern, da es darüber kaum sonographische Studien gibt. Hierbei ermöglichen sehr hochauflösende Schallköpfe von Graustufen-Sonographen mit 18-22 Hz (Grassi et al., 2000; Hirschmüller & Weisskopf, 2017) noch differenzierteren Einblick in die Faserstrukturierung. Wie die Studie von Majewski et al. (2003) zeigt, sollte die Sehnendicke als Verlaufszeichen einer Sehnenheilung inkludiert werden und eine einheitliche Interpretation der Hypoechogenität vorangetrieben werden. Dabei könnte die Zusammenarbeit mit erfahrenen Ärzten wertvolle Synergien für die Physiotherapie schaffen.

Eine Vereinheitlichung der bildgebenden Zeitpunkte mit der Literatur würde die Vergleichbarkeit verbessern.

Innerhalb des Forschungsprojektes könnte zukünftig, mittels dopplersonographischer Beobachtungen von Neovakularisationen, eine Brücke zu den Ergebnissen von Basler & Püntener (2020) geschlagen werden, die den Schmerzen nach den Keilwechseln untersuchten.

Die rasante technologische Entwicklung verspricht viel Potential für kostengünstige, mobile und qualitative hochwertige Ultraschallgeräte direkt vor Ort, welche das bessere Verständnis und die genauere Verifizierung der klinischen Befunde weiter vorantreiben könnten. Die Zuhilfenahme der Dopplersonographie, welche die Neovaskularisationen darstellt, die direkt mit Schmerzen in Verbindung steht und die Elastographie, die Aussagen über die mechanische Beschaffenheit der Sehne zulässt, könnten zukünftig wichtige Informationen liefern, auch um frühzeitig asymptomatischen, degenerativen Veränderungen entgegenzuwirken (Hirschmüller & Weisskopf, 2017). Diese Perspektiven eröffnen potenziell ein vielversprechendes Feld für spezialisierte Sport-Physiotherapeuten oder Physiotherapeuten im rheumatisch-orthopädischen Bereich im Rahmen der «Advanced Physiotherapy Practice».

8 Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit zeigt anhand des Einzelfalles, dass der Wundheilungsverlauf im Graustufen-Ultraschall ersichtlich ist, strukturelle Veränderungen mit einer Verbesserung des therapeutischen und physiologischen Heilungsverlauf übereinstimmen und möglicherweise durch Entlastungen und Belastungen modifiziert werden können.

Aufgrund der zusammengetragenen Literatur und der Erfahrungen aus dem Fallbeispiel gibt sie Anregungen für zukünftige Verbesserung der Messungen in der Praxis.

Jedoch sind weitere Studien nötig, um diese Ergebnisse in grösseren Populationen zu überprüfen. Abschliessend kann jedoch gesagt werden, dass die diagnostische Sonographie über das zukünftige Potential verfügt sich zu einem ergänzenden Tool in der Physiotherapie zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- Ahmed, I. M., Lagopoulos, M., McConnell, P., Soames, R. W. & Sefton, G. K. (1998). Blood Supply of the Achilles Tendon. *The Journal of Orthopaedic Research*, 16(5), 591-596.
- Amboss. (2019). *Sonographie (Ultraschall)*. Zugriff am 13. September, 2019, von <https://www.amboss.com/de/wissen/Sonographie>
- Amlang, M. H. & Zwipp, H. (2006). Verletzung großer Sehnen. Achilles-, Patellar- und Quadrizepssehne. *Der Chirurg*, 77(7), 637-650.
- Atzeni, F., Talotta, R., Masala, I.F., Giacomelli, C., Conversano, C., Nucera, V., Lucchino, B., Iannuccelli, C., Di Franco, M., Bazzichi, L. (2019). *One year in review 2019: fibromyalgia. Clinical and Experimental Rheumatology*, 37(Suppl. 116), 3-10.
- Bant, H. & van den Berg, F. (2011). Schädigung der ischiokruralen Muskulatur (Hamstrings-Syndrom) - Hürdenlauf. In H. Bant, H.-J. Haas, M. Ophey & M. Steverding (Hrsg.), *Sportphysiotherapie* (S. 429-463). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Basler, M. & Püntener, D. (2020). Den Schmerz im Fokus: Verlauf einer konservativen Behandlung nach Achillessehnenruptur (Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2020). S.25.
- Chillemi, C., Gigante, A., Verdenelli, A., Marinelle, M., Ulisse, S., Morgantini, A. & de Palma, L. (2002). Percutaneous repair of Achilles tendon rupture: ultrasonographical and isokinetic evaluation. *Foot and Ankle Surgery*, 8, 267-276.
- Chiodo, C.P., Glazebrook, M., Bluman, E.M., Cohen, B.E., Femino, J.E., Giza, E., Watters, W.C. 3rd, Goldberg, M.J., Keith, M., Haralson, R.H. 3rd, Turkelson, C.M., Wies, J.L., Hitchcock, K., Raymond, L., Anderson, S., Boyer, K. & Sluka, P. (2010). American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guideline on Treatment of Achilles Tendon Rupture. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 92-A(14), 2466-2468.
- Dams, O.C., Reininga, I.H.F., Gielen, J.L., van der Akker-Scheek, I. & Zwerver, J. (2017). Imaging modalities in the diagnosis and monitoring of Achilles tendon ruptures: A systematic review. *Injury, International Journal of the Care of the Injured*, 48(11), 2383-2399.

- Doral M.N., Huri G., Eroglu M., Turhan E. & Sargon M. F. (2017). Achillessehne. In C. Plaaß, L. Weisskopf (Hrsg.), *Die Sehne. Leitfaden zur Behandlung von Sehnenpathologien* (S.190-250). Berlin, Boston: De Gruyter.
- El-Akkawi, A. I., Joanroy, R., Barfod, K. W., Kallemose, T., Kristensen, S. S. & Viberg, B. (2018). Effect of early versus late weightbearing in conservatively treated acute Achilles tendon rupture: a meta-analysis. *The Journal of Foot & Ankle Surgery*, 57(2), 346-352.
- Erickson, B. J., Cvetanovich, G. L., Nwachukwu, B. U., Villarroel, L. D., Lin, J. L., Bach Jr, B. R. & McCormick, F. M. (2014). Trends in the Management of Achilles Tendon Ruptures in the United States Medicare Population, 2005-2011. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(9), 1-6.
- Feilmeier, M. (2017). Noninsertional Achilles Tendinopathy Pathologic Background and Clinical Examination. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 34(2), 129-136.
<https://doi.org/10.1016/j.cpm.2016.10.003>
- Giebel, J. (2016). Peritendineum. In *Pschyrembel online*. Zugriff am 19. April, 2020, von <https://www.pschyrembel.de/Peritendineum/K0GN1/doc/>
- Grassi, W., Filippucci, E., Farina, A. & Cervini, C. (2000). Sonographic Imaging of Tendons. *Arthritis & Rheumatism*, 43(5), 969-976.
- Heining, S. (2018). Achillessehnenruptur, konservative Therapie. In: Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie, J. Schmidt (Hrsg.), *Nachbehandlungsempfehlungen 2018* (S.114-115). Berlin: DGOU.
- Heynemann, H. & Jenderka, K.-V. (2012). Von der Ultraschallwelle zum Ultraschallbild. In R. Hofmann, A. Hegele & A. Honacker (Hrsg.), *Ultraschall in der Urologie* (S. 5-16). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hirschmüller, A. (2017). Grundlagen der Sehnenphysiologie. In C. Plaaß, L. Weisskopf (Hrsg.), *Die Sehne. Leitfaden zur Behandlung von Sehnenpathologien*. (S. 1-28). Berlin, Boston: De Gruyter.
- Hirschmüller, A. & Weisskopf, L. (2017). Moderne Ultraschalldiagnostik. Optionen und Perspektiven am Bewegungsapparat. *Sportärztezeitung*, 2017(1), 4-8.
- Hirschmüller, A. (2018). Sonographie der Achillessehne. *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis*, 7(1), 36-42.

- Hochschild, J. (2012). *Strukturen und Funktionen begreifen. Funktionelle Anatomie - Therapierelevante Details*. (2. Aufl., Bd. 2). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Hofstätter, S., Schuh, R., Trnka, H.-J. & Willinger, L. (2017). Achillessehne. In Imhoff, A. B., & Feucht, M. J. (Hrsg.), *Atlas sportorthopädisch-sporttraumatologische Operationen* (2. Aufl., S. 417-431). Berlin: Springer-Verlag.
- Hollenberg, G. M., Adams, M. J. & Weinberg, E. P. (2000). Sonographic appearance of nonoperatively treated Achilles tendon ruptures. *Skeletal Radiology*, 29, 259-264.
- Hufner, T. M., Brandes, D. B., Thermann, H., Richter, M., Knobloch, K. & Krettek, C. (2006). Long-Term Results After Functional Nonoperative Treatment of Achilles Tendon Rupture. *Foot & Ankle International*, 27(3), 167-171.
- Inselspital. Institut für Physiotherapie. (2019). *Der Achillessehnen-Riss. Patienteninformation* [pdf file]. Zugriff am 17. September, 2019, von http://www.physio.insel.ch/fileadmin/physiotherapie/physiotherapie_users/Pdf/Der_Achillessehnen-Riss-Patienteninformation.pdf
- Jenderka, K.-V. & Delorme, S. (2018). Diagnostischer Ultraschall. In W. Schlegel, C. P. Karger & O. Jäkel (Hrsg.), *Medizinische Physik* (S. 285-305). Berlin: Springer-Verlag.
- Jones, M. P., Khan, R. J. K. & Smith, R. L. C. (2012). Surgical Interventions for Treating Acute Achilles Tendon Rupture: Key Findings from a Recent Cochrane Review. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 94-A(12), e88(1-6).
- Kälebo, P., Allenmark, C., Peterson, L. & Swärd, L. (1992). Diagnostic value of ultrasonography in partial ruptures of the Achilles tendon. *The American Journal of Sports Medicine*, 20(4), 378-381.
- Kästner, A (2010). Sonomorphologie der Achillessehne bei Laufsportlern verschiedener Leistungsklassen (Inaugural-Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 2010). S.17-20.
- Konermann, W. & Gruber, G. (2000). Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane: nach den Richtlinien der DEGUM (S. 306-307). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Ker, R. F., Bennett, M. B., Bibby, S. R., Kester, R. C. & Alexander, R. McN. (1987). The spring in the arch of the human foot. *Nature*, 325, 147-149.

- Khan, R. J. K. & Carey Smith R. L. (2010). Surgical interventions for treating acute Achilles tendon ruptures. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (9), 1-44.
- Krause, F. (2017). Konservative Therapie. In C. Plaaß, L. Weisskopf (Hrsg.), *Die Sehne. Leitfaden zur Behandlung von Sehnenpathologien*. (S. 202-207). Berlin, Boston: De Gruyter.
- Krause, F. & Weisskopf L. (2017). Achillessehnenruptur. In C. Plaaß, L. Weisskopf (Hrsg.), *Die Sehne. Leitfaden zur Behandlung von Sehnenpathologien*. (S. 202-207). Berlin, Boston: De Gruyter.
- Krischak, G. (2009). *Traumatologie für Physiotherapeuten*. (2. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Künzli SwissSchuh AG, (2018). *Ortho® Spezialmodelle Ortho Rehab Total* [pdf file]. Zugriff am 15. Dezember, 2019, von https://www.kuenzli-schuhe.ch/en/shop-en/produkt/1240-ortho-rehab-total/category_pathway-33
- Lemme, N. J., Li, N. Y., DeFroda, S. F., Kleiner, J. & Owens, B. D. (2018). Epidemiology of Achilles Tendon Ruptures in the United States: Athletic and Nonathletic Injuries From 2012 to 2016. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(11), 1-7.
- Leppilahti, J., & Orava, S. (1998). Total Achilles Tendon Rupture. A Review. *Sports Medicine*, 25(2), 79-100.
- Majewski, M., Rickert, M. & Steinbrück, K. (2000). Die frische Achillessehnenruptur. *Der Orthopäde*, 29(7), 670-676.
- Majewski, M., Lehmann, M., Dick, W. & Steinbrück, K. (2003). Wertigkeit der sonographischen Verlaufskontrolle nach Achillessehnenrupturbehandlung - Vergleich konservative Therapie, perkutane und offene Naht. *Der Unfallchirurg*, 106(7), 556-560.
- Mayer, C. & Siems, W. (2011). *100 Krankheitsbilder in der Physiotherapie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- McAuliffe, S., McCreesh, K., Culloty, F., Purtill, H. & O'Sullivan, K. (2016). Can ultrasound imaging predict the development of Achilles and patellar tendinopathy? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* (50), 1516-1523.

- Medizinisch Radiologisches Institut. (2019). *Was ist Ultraschall?*. Zugriff am 17. September, 2019, von <http://www.mri-roentgen.ch/angebot/ultraschall/was-ist-ultraschall/>
- Möller, M., Kålebo, P., Tidebrant, G., Movin, T. & Karlsson, J. (2002). The ultrasonographic appearance of the ruptured Achilles tendon during healing: a longitudinal evaluation of surgical and nonsurgical treatment, with comparisons to MRI appearance. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 10, 49-56.
- Nowotny, J. & Kasten, P. (2015). Physiologie der Sehnenheilung. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 10(1), 75-87. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Ochen, Y., Beks, R. B., van Heijl, M., Hietbrink, F., Leenen, L. P.H., van der Velde, D., Heng, M., van der Meijden O., Groenwold, R. H. H. & Houwert, R. M. (2019). Operative treatment versus nonoperative treatment of Achilles tendon ruptures: systematic review and meta-analysis. *The BMJ*, 364(k5120), 1-13.
- OPED. (o.J.). *VACOPed*. Zugriff am 19. April, 2020, von <http://fuss.oped.ch/vacoped/produktinformation-mediziner-vacoped/>
- Pajala, A. (2009). Achilles tendon rupture. Comparison of two surgical techniques, evaluation of outcomes after complications and biochemical and histological analyses of collagen type I and III and tenascin-C expression in the Achilles tendon. (Doctoral dissertation, Oulu University Hospital, 2009). Oulu University Press, 1012.
- Pflzmann, R. (2020). Kollagen. In *Pschyrembel online*. Zugriff am 19. April, 2020, von <https://www.pschyrembel.de/Kollagen/K0BW4/doc/>
- Pschyrembel Redaktion. (2016a). Aponeurose. In *Pschyrembel online*. Zugriff am 19. April, 2020, von <https://www.pschyrembel.de/Aponeurose/K02QF/doc/>
- Pschyrembel Redaktion. (2016b). Piezoelektrischer Effekt. In *Pschyrembel online*. Zugriff am 19. April, 2020, von <https://www.pschyrembel.de/piezoelektrischer%20Effekt/K06J1/doc/>
- Quack, V., Tingart, M., Grifka, J. & Götz, J. (2013). Achillessehnenruptur. In K.-W. Jauch, W. Mutschler, J. N. Hoffmann & K.-G. Kanz (Hrsg.), *Chirurgie Basisweiterbildung: In 100 Schritten durch den Common Trunk* (2. Aufl., S.578-582). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rominger, M. B., Bachmann, G., Schulte, S. & Zedler, A. (1998). Der Wert von Ultraschall und Magnetresonanztomographie in der postoperativen Verlaufskontrolle nach

Achillessehnenruptur. *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 168(1), 27-35.

- Sattler, H. & Sattler, T.N. (2016). Sonographie des Bewegungsapparats. In C. Raschka & L. Nitsche (Hrsg.), *Praktische Sportmedizin* (S.97-102). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Schepesis, A. A., Jones, H. & Haas, A. L. (2002). Achilles Tendon Disorders in Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 30(2), 287-305.
- Schneider, M., Angele, P., Järvinen, T. A. H., Docheva, D. (2018). Rescue plan for Achilles: Therapeutics steering the fate and functions of stem cells in tendon wound healing. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 129, 352-375.
- Schöller, D. (2020). Adhäsion. In *Pschyrembel online*. Zugriff am 19. April, 2020, von <https://www.pschyrembel.de/Adhäsion/K01PC/doc/>
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (Hrsg.). (2014). *Prometheus - LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. (4. Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Sharma, P. & Maffulli, N. (2006). Biology of tendon injury: healing, modeling and remodeling. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 6(2), 181-190.
- Spektrum Akademischer Verlag. (1998a). Impedanz. In *Lexikon der Physik*. Zugriff am 7. Dezember, 2019, von <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/>
- Spektrum Akademischer Verlag. (1998b). Viskoelastizität. In *Lexikon der Physik*. Zugriff am 7. Dezember, 2019, von <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/>
- Stein, V., Laprell, H., Tinnemeyer, S. & Petersen, W. (2000). Quantitative assessment of intravascular volume of the human Achilles tendon, *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 71(1), 60-63.
- Steverding, M. (2007). Rehabilitation spezifischer Gewebe. In F. van den Berg (Hrsg.), *Angewandte Physiologie. Therapie, Training, Tests* (2. Aufl., Bd. 3, S.130-195). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Syha, R., Springer, F., Ketelsen, D., Ipach, I., Kramer, U., Horger, M., Schick, F. & Grosse, U. (2013). Achillodynia - Radiological Imaging of Acute and Chronic Overuse Injuries of the Achilles Tendon, *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 185(11), 1041-1055. Georg Thieme Verlag.

- Theobald, P., Benjamin, M., Nokes, L. & Pugh, N. (2005). Review of the vascularisation of the human Achilles tendon. *Injury, International Journal of the Care of the Injured*, 36(11), 1267-1272.
- Twaddle, B. C. & Poon, P. (2007). Early motion for Achilles tendon ruptures: is surgery important? A randomized, prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(12), 2033-2038.
- Van den Berg, F. & Cabri J. (2003). *Angewandte Physiologie. Das Bindegewebe des Bewegungsapparats verstehen und beeinflussen* (2.Aufl., Bd. 1). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Van den Berg, F. (2011). Wundheilungsprozess. In H. Bant, H.-J. Haas, M. Oprey & M. Steverding (Hrsg.), *Sportphysiotherapie* (S. 47-71). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Westin, O., Helander, K. N., Silbernagel, K. G., Möller, M., Kälebo, P. & Karlsson, J. (2016). Acute Ultrasonography Investigation to Predict Reruptures and Outcomes in Patients with an Achilles Tendon Rupture. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(10), 1-7.
- Wolfe, F., Clauw, D.J., Fitzcharles, M.-A., Goldenberg, D.L., Häuser, W., Katz, R.L., Mease, P.J., Russel, A.S., Russel, I.J., Walitt, B. (2016). 2016 Revision to the 2010/2011 fibromyalgia diagnostic criteria. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 46(3), 319-329.
- Zantop, T., Tillmann, B. & Petersen, W. (2003). Quantitative assessment of blood vessels of the human Achilles tendon: an immunohistochemical cadaver study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 123(9), 501-504.
- Zschäbitz, A. (2005). Anatomie und Verhalten von Sehnen und Bändern. *Der Orthopäde*, 34(6), 516-525.

Zusatzverzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Procedere der Patientin (Basler & Püntener, 2020)	13
Abbildung 2: Auswahl der Messzeitpunkte	15
Abbildung 3: Darstellung der Achillessehne mit den inserierenden Muskeln: Ansicht von dorsal, Oberflächliche Flexoren a) M. gastrocnemius mit Achillessehne, b) M. soleus und M. plantaris unter Teilentfernung des M. gastrocnemius (Schünke, Schulte & Schumacher, 2014).....	17
Abbildung 5: Zeichnung des Faserverlaufes des M. Gastrocnemius und M. soleus im Verlauf der Achillessehne (Pajala, 2009).....	18
Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Sehnenquerschnittes (Zschäbitz, 2005)...	18
Abbildung 6: Sehnenaufbau mit Angaben der Darstellbarkeit mit bildgebenden Verfahren (Hirschmüller, 2017)	20
Abbildung 7: Histologische Präparat mit Darstellung der kollagenen Wellenform (Zschäbitz, 2005)	20
Abbildung 8: Exemplarische Belastungs-Dehnungs-Kurve einer Sehne (Zschäbitz, 2005)	21
Abbildung 9: Wundheilungsphasen (Schneider et al., 2018).....	26
Abbildung 11: Verschiedene Schallköpfe mit ihren Scannbereichen (Heynemann & Jenderka, 2012).....	35
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Zusammensetzung eines Schnittbildes von B-Mode-Linien durch Abtasten der Schallbündel eines Linear-Arrays (Heynemann & Jenderka, 2012).....	35
Abbildung 12: Gesunde Achillessehne im Longitudinalschnitt (A) und Transversalschnitt (B) (Syha et al., 2012).....	37
Abbildung 13: Komplette Achillessehnenruptur im hochauflösenden Ultraschall (Westin et al., 2016).....	38
Abbildung 14: Ultraschall einer Achillessehnenruptur in 0° Flexion und 20° Plantarflexion (Konermann & Gruber, 2000)	38
Abbildung 15: Partielle Ruptur (Kälebo et al., 1992).....	39

Abbildung 16: Degenerative Sehne mit verdicktem Paratenon (+), Aufhebung der strengen Binnenstruktur (*) und Neovaskularisation (#, im B-Ultraschall nicht ersichtlich) (Hirschmüller, 2017)	39
Abbildung 17: Flüssigkeitslamellen bei verdicktem Paratenon (Kästner, 2010)	40
Abbildung 18: Hyperechogene Regionen die auf Kalkablagerungen hindeuten (Kästner, 2010)	40
Abbildung 19: Sonographischer Longitudinalschnitt der "Midportion" der Achillessehne 6 bis 24 Wochen nach dem Unfall und nicht-betroffene Gegenseite.....	46
Abbildung 20: Schematische Darstellung eines Tendozyten mit von ihm produzierten Substanzen (van den Berg, 2011)	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Informationen zur Patientin	12
Tabelle 2: Achillessehnenriss begünstigende Faktoren (angepasst nach Krause & Weisskopf, 2017; Quack et al., 2013).....	24
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der konservativen Therapie (angepasst nach Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019; Krause, 2017; Nissel-Helander, 2010)	30
Tabelle 4: Indikatoren zur konservativen Therapie (nach Krause, 2017)	30
Tabelle 5: Physiotherapeutischer Verlauf nach konservativer Achillessehnenruptur (angepasst nach Inselspital, Institut für Physiotherapie, 2019)	31
Tabelle 6: Praktische Hinweise zur Ultraschalluntersuchung (Hirschmüller, 2018; Majewski et al., 2003; Rominger et al., 1998)	36
Tabelle 7: Beurteilung der Achillessehne im Ultraschall	41

Wortdeklaration

- Wortzahl des Abstracts (deutsch): 194
- Wortzahl des Abstracts (english): 228
- Wortzahl des Textes exklusive Anmerkungen, Abstract, Tabellen, Abbildungen, Literaturverzeichnis, Danksagung, Eigenständigkeitserklärung und Anhänge: 10428

9 Danksagung

Für die Erstellung dieser lehrreichen Arbeit und die Möglichkeit mich in dieses Thema vertiefen zu können, möchte ich mich bedanken. Zuerst möchte ich mich bei meiner Betreuungsperson Frau Dr. J. Saner-Bissig für all ihre anregenden Inputs, das Ermöglichen gewisser Freiheiten und den guten Zuspruch in schwierigen Situationen bedanken. Danach möchte ich meiner Mutter (Ulrike Lachappelle) und meinen engsten Freunden (Anna Schobert, Jasmin Zimmermann und Luca Baici) für ihre Unterstützung, Korrekturen und die anregenden Inputs danken.

Diese Bachelorarbeit entstand in Zusammenarbeit mit der Abteilung Forschung & Entwicklung des Institutes für Physiotherapie. Wir bedanken uns für die Unterstützung durch Frau Dr. E. Graf und den kollegialen Austausch mit M. Basler und D. Püntener.

10 Eigenständigkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe.“



Uster, 22.04.2019

Patrice Lachappelle

Anhang

A) Glossar

<u>Begriff</u>	<u>Definition</u>
Adhäsion	Begriff für verschiedene Formen von mechanischen oder spezifischen Anhaftungen von zwei Stoffen oder Materialien (Schöller, 2020)
Aponeurose	Bezeichnung für eine breitflächige Sehne, oder die Sehnenhaut (Pschyrembel Redaktion, 2016a)
Kollagen	Strukturprotein der extrazellulären Matrix das unter physiologischen Bedingungen unlöslich ist. Es ist mit ca. 25-30%, das häufigste tierische Protein und Hauptbestandteil des Bindegewebes wie Sehnen, Faszien, Bänder, Knorpel, Knochen, Zahnbein. Die Einteilung erfolgt in Typen I- XXVIII (Pfilzmann, 2020).
Kollagen Typ I	Es ist mit ca. 95% der Hauptbestandteil der Sehne und kommt v.a. in Geweben mit Zugbelastung vor. Die Synthese erfolgt durch Fibroblasten (van den Berg & Cabri, 2003).
Kollagen Typ III	Dies ist das provisorische Kollagen, welches vermehrt während der Wundheilung von Fibroblasten synthetisiert wird. Es schliesst die Wunde und wird zu einem späteren Zeitpunkt durch Kollagen Typ I ersetzt (van den Berg & Cabri, 2003).
Künzlisshuh (Ortho Rehab Total)	Ist ein paarweise getragener, orthopädischer Spezialschuh, der für die Nachbehandlung der Achillessehnen entwickelt wurde. Die mitgelieferten Keile ermöglichen einen Stufenweisen Abbau der Spitzfussstellung. Die spezielle Konstruktion aus Leder verfügt über verschiedenen Verstellmöglichkeiten und eine speziell geformte Laufsohle. Diese unterstützen das physiologische Abrollen und erlauben eine frühfunktionelle Mobilisation (Künzli SwissSchuh AG, 2018).

Peritendineum	Von der äusseren Bindegewebshülle der Sehne (Epitendineum) ins Innere ziehende Septen, Gefässe und Nerven zur Führung, oder als Verschiebeschicht dient (Giebel, 2016).
piezoelektrisch (Piezoelektrischer Effekt), Inverser Piezoelektrischer Effekt)	Physikalischer Effekt, wobei bei Einwirkung von Druck oder Zug elektrische Spannungen an der Oberfläche bestimmter Kristalle auftreten (Piezoelektrischer Effekt). Beim inversen piezoelektrischen Effekt verformen sich die Kristalle beim Anlegen einer Spannung, was z.B. bei Ultraschallaufnahmen genutzt wird (Pschyrembel Redaktion, 2016b).
VACOped	Der VACOped stellt eine mögliche Orthese nach Fuss- und Sprunggelenkverletzungen dar. Er verfügt über ein Vakuumkissen, welches auch bei Schwellung eine optimale und individuelle Anpassbarkeit garantiert. Seine spezielle Konstruktion ermöglicht unterschiedlich definierte Bewegungsfreigaben und somit mehr Bewegungsfreiheit wie ein herkömmlicher Gips (OPED, o.J.)
viskoelastisch (Viskoelastizität)	Sammelbegriff für Materialien, die bei langsamer Krafteinwirkung zähplastisch wirken und bei plötzlicher mechanischer Spannung wie ein Festkörper (Spektrum Akademischer Verlag, 1998b)

B) Methodik

Untenstehenden Aufstellung listet detailliert Einzelheiten vom Keilabbau und dem physiotherapeutischen Verlauf auf und stellt sie den Wundheilungsphasen gegenüber.

Anmerkungen zum Keilabbau: Generell wurde der Keilabbau als positiver

Trainingsstimulus gewertet, unter der Annahme, dass biomechanisch mehr Zug auf die Sehne appliziert wird, wie dies auch durch Muskelaktivität der Fall ist. Dabei wurde vernachlässigt, dass die ersten 1% der Sehnenstraffung lediglich die Wellenstruktur auflösen und noch keinen Zug auf das Gewebe applizieren.

Patientin					
Datum	Wundheilungsphase	US Messung	Keilabbau	Spezielles aus PT-Verlauf	Bemerkungen
12.9.18	Entzündungsphase bis 17.9.18	x	x	TB an UAGS VACOPed	Unfall
17.09.18	Ende Entzündungsphase	x	x	TB an UAGS	
26.09.18	Proliferationsphase bis 4-6 Wo (10./24.10.18)	x	Künzlischuh, Keil 3cm (Tagsüber) und VACOPed (nachts)	VB	
10.10.18 (nach 4 Wochen)		x			Majewski et al. 2003
23.10.18 (nach 6 Wo)	Proliferationsphase/ Remodelling (Konsolidierungsphase)	1.US	Künzlischuh, 2cm Keil	VB	
24.10.18 (6 Wo)		x	Künzlischuh, 2cm Keil		
31.10.18 (7 Wo)		x	Künzlischuh, 1cm Keil		
07.11.18 (nach 8 Wo)	Remodelling (Konsolidierungsphase)	US	1cm Keil seit 31.10.18 Eigener Schuh + 1cm Keil seit 07.11.18	VB, 5.11.18: geschlossener Stand, EBS	5.11. rötlich, Sz, Fussdrehen Szhaft, Zusammenstoss

					mit Tochter & Katze Majewski et al. 2003
20.11.18 (10 Wo)		US		VB, 19.11.18: Isometrischer Zehenstand mit Ball und Gewichtsverlagerung auf Li Seite (load+)	
04.12.18 (12 Wo)		US		29.11.18: Zehenstand weiter (Höhe / Gewicht)	Majewski et al. 2003 (5.12.19)
13.12.18 (13 Wo)		x	Eigener Schuh, ohne Keil	VB	Keilabbau geht einher mit besserer Strukturierung im US
18.12.18 (14 Wo)		US	0 cm seit 13.12.18 (5 Tagen)	VB 17.12.18: push off „Am Ort Geher“ (Load+)	
08.01.19 (17 Wo)		US		Ab 10.1. MTT 2-leg-heel-rise möglich Pat. war 1mal mit high heels unterwegs	
24.01.19 (19 Wo)	Remodelling (Maturierungsphase)	US	6 Wo ohne Keil	VB, 07.01.2019: calf raises mit KG-F (mehr M. Soleus Aktivität =>	Loaderhöhung geht einher mit Verbesserung der US- Bildes !

				<p>Stärkster Muskel an Wade!)</p> <p>27.12.18: 2x20 WH</p> <p>24kg calf raises seated (load +),</p> <p>14.01.19: 15x calf raises standing an Stab haltend (Load++)</p> <p>(Wo 14 bis 17)</p>	
<p>26.02.2019</p> <p>(24 Wo)</p>		<p>US</p> <p>(letztes Bild innerhalb 6 Mnt.)</p>		<p>28.01.19: Fibroschub?</p> <p>04.02.19: Schnelles Laufen (Propulsion durch Zehenflexoren) => Geschwindigkeit ↑, load on tendon ↑, 1-Beiniger Squat auf Airex, PF ca. 15 Pfund</p> <p>18.02.19: 2 Wochen Pause wegen Grippe !</p>	<p>Problem: evt. starker Reiz & lange Pause zwischen 2 Aufnahmen (Interferenzeffekte könnten sich gegenseitig auflösen)</p> <p>04.02.19: Fuss übertreten an Stranddeckel</p>
<p>16.04.2019</p> <p>(31 Wo)</p>		<p>US</p>		<p>18.03.19: seit 1.5 Wo Zehengang möglich</p>	<p>Majewski et al. 2003 Wo 26 (13.03.19)</p>
<p>18.06.2019</p> <p>(40 Wo)</p>		<p>US</p> <p>(letztes US Bild)</p>		<p>Wenig geübt</p>	
<p>02.09.2019</p> <p>(51 Wo)</p>		<p>US</p>		<p>Wieder im Krafttraining</p>	
<p>06.11.2019</p> <p>(60 Wo)</p>		<p>US</p>			

C) Physiotherapeutischer Behandlungsverlauf

Untersuchungsprotokoll Institut für Physiotherapie



Datum Befundaufnahme: 22.10.2018

Name Patientin

Geb. xx.xx.1970

Beruf Büro, HH (3 Etagen)

AUF in %

Freizeit 2J Sport stopp, Velo (Winti)

Ziele & spez. ärztl. Anweisungen

Diagnose AS Ruptur 12.9.18

Prozedere: nach 1 2/3 Serien

Doku Jeanette Saner.

Arzt/Aerztin

ND: Depression, Fibromyalgie

Fahrrad ab 8. Wo. (14. Okt)

Physiotherapeut/in

Volles ROM ab 5. Wo

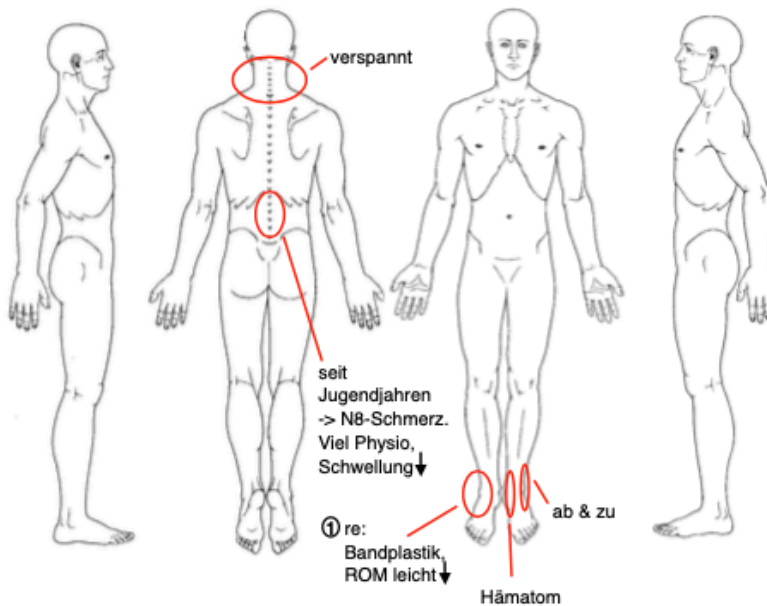
Sprünge/Stop&Go ab 9./12. MT

Hauptproblem aus der Sicht des/der Patienten/in (subjektive Beeinträchtigung)

Behandlungsziel aus der Sicht des/der Patient/in

Laufen, Velo, Joggen, Schwimmen, Wandern, Tennis

Körpertabelle / Symptomverhalten (Lokalisation, spez. Fragen)



- ☐ P & N
- ☐ Taubheit
- ☐ RM
- ☐ cauda equina
- ☐ VBI
- ☐ Andere Sx

Zusammenhang

Seite 1 von 6

\\dis.kat.tu-berlin.de\share\physio\2016_2017\5. Semester\Befund\2015\2016\2017\2016_17.docx - Zuletzt gespeichert von Stefan Jan AM MSK

Verhalten der Symptome

Verbessernde / verschlechternde Aktivitäten / Haltungen - 24-h Verhalten - Screening Questions

- ① ↑ im Verlauf vom Tag, zu Hause ohne Stöcke, nach erwachen; strecken

Geschichte

aktuelle Geschichte - Vorgeschichte - Verlauf - bisherige Behandlungsmaßnahmen

Volleyballspielen, am Netz, 2-3 Mal nach vorne. Beim Losrennen, Fuss bleibt stehen beim Start —> klöpfen.
Konnte nicht belasten -> Permanence -> Kantonsspital.
Zusätzlich Rippenfraktur —> Schmerzmedis

Jetzt: 2 Wochen Ferien
Stöcke für längere Distanzen
3cm für 6 Wochen, danach 1cm Reduktion

Vorgeschichte: AS knirschen schon länger

Spezielle Fragen / Kontextfaktoren

AZ - Medikamente - OP - Trauma - Krankheiten - Bildgebende Untersuchungen - weitere Untersuchungen - psychosoziale Situation

AZ: Fibromyalgie —> starke GelenkSZ
Soziale Situation: Ehemann, 2 Kinder, 1 ausgezogen

Einstellung / Erwartungen des/der Patienten/in

subjektive Verlaufparameter festlegen *

Plan P/E

Objektiver Untersuch - P/E

Datum Befundaufnahme:

Momentane Beschwerden (present pain / pp)

Inspektion / Beobachtung (z.B. Haut, Konstitution, Statik von der Seite, von hinten, von vorn)



Wenig Schwellung

++ AS-Dicke

- Aktivierung DE/PF schwierig

Aktive Untersuchung

(Funktionelle Demonstration, Alltagsrelevante Bewegungen / Funktionen, Aktive Bewegungstests, Muskeltests, Spezielle Tests zur Evaluation von muskulären Dysfunktionen)

Patient:	Behandlung: DE/PF, 3 Punkte Belastung, Zehen einzeln hoch/runter
22.10 (1. Verordnung)	<u>Allgemein:</u> Ab Donnerstag 2cm → 26.10 Kontrolle <u>P/E:</u> + Schwellung lateral <u>Behandlung:</u> -calf raises sitzend -Div. Int. Drücken 90% LR → Knieposition -LD (Lymphdrainage), hochlagern, Kompression Arm-Ergometer
29.10 (6.5 Wo)	<u>C/O:</u> -Fuss ok, schlafen ohne VACOped erwacht manchmal wegen Sz Angst vor Schuhabbau → erklärt wegen Schrittweiser Abbau → verhockt vorne <u>Behandlung:</u> Sanft mobilisierende Massage OSG in DE & KG Flex

<p>5.11 (7.5 Wo)</p>	<p><u>C/O:</u></p> <p>Donnerstag 1 Keil</p> <p>Schmerz beim laufen</p> <p>Nachmittag: nach Hause -> Achillessehne hochlagern</p> <p>Schmerz neu lateral Vorfuss → 2 Nächte schlecht geschlafen</p> <p>Fussdrehen schmerzt</p> <p>Nach komischer Bewegung, Zusammenstoß mit Tochter & Katze</p> <p>erneuter Schmerz</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>Farbe rötlich bei Belastung</p> <p>Thompson ok</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>Mit Keil Barfuss Gewichtsverlagerung</p> <p>An Ort Geher</p> <p>Tandemstand</p> <p>Geschlossene Augen parallel</p> <p>Sst Steigern zu 1 Beinstand</p> <p>WTT (Weichteiltechniken) Achillessehne</p> <p>Metatarsale 4/5 Mobilisiert</p>
--------------------------	--

<p>19.11 (9.5 Wo)</p>	<p><u>C/O:</u></p> <p>Deutlich mehr Schmerz durch Stöcke Kleine Schritte geht Treppe abw. Geht gut Velo seit 1 Woche, Pedale Mittig 1 Beinstand → nachher Schmerz Nach drehen Schmerz lateral, nicht bei AS</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>Nicht betroffene Seite: Fuss-Wand 10.5 Betroffene Seite: Fuss-Wand 0.5 (parallel)</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>Knie Flex stehend für Mob WTT (Weichteiltechniken) Achillessehne & Flexion Isometrischer Zehenstand mit Ball zwischen Knöcheln 3x45 Sekunden</p>
<p>29.11 (11 Wo)</p>	<p><u>C/O:</u></p> <p>Turnschuhe statt Absatz, noch zu instabil Schnell laufen geht nicht → Schmerz und Konzentration = LF Rötlich, Schwellung +/- vor allem abends, lange stehen macht Sz DE: Limite ventral</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>9.5cm → ventral // 10.5 → ventral Endstance leicht verlängert</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>AP Mobilisation in DE + Instruktion sst Übung besprochen, Zehenstand Höhe/Gewicht variieren Beratung über Grenze</p>

<p>10.12 (12.5 Wo)</p>	<p><u>C/O:</u> Strenge Woche, nicht geübt Mobi durch Jeanette OSG dito Schmerz vor allem lat. Malleolus distal Mehr Schwellung</p> <p><u>P/E:</u> 11.5 cm: Zehe-Wand</p> <p><u>Behandlung:</u> Ap Mobilisation OSG + Instruktion Mulligan mit Gurt An Ort Geher</p>
<p>17.12. (2.Verordnung)</p>	<p><u>C/O:</u> Heute ganz schlecht beim laufen Nicht viel besser Schmerz immer noch ventral / lateral Urs hat viel mobilisiert Mobi nach letztem Mal 1 Tag gesurrt, danach deutlich besser Fokus: Mobi & laufen</p> <p><u>P/E:</u> DE 11.5 cm // 12.5</p> <p><u>Behandlung:</u> „Am Ort Geher“, Fokus push off Peroneus offene Kette, TB Training Ap Talus</p>

27.12	<p><u>C/O:</u> Immer etwa gleich, übt wenig, Schmerz beim laufen ventral / lateral</p> <p><u>P/E:</u> DE: 12 cm // dito, Zone EOR mit p wird kleiner</p> <p><u>Behandlung:</u> Ap Mobi in RL → steigern nächstes Mal 2 x 20 Wdh 24 kg calf raises seated</p>
07.01	<p><u>C/O:</u> In letzten Tagen ++ Schmerzen, nach letztem Mal aber definitiv besser. ROM unbelastet li > re. Treppe abw, noch limitierend, Gangtempo reduziert + Vorfuß Taubheit, evt. viel Krallen/ verkrampft</p> <p><u>P/E:</u> DE 11.5 cm, Gang konzentriert hinkfrei, schmerzhaft</p> <p><u>Behandlung:</u> Gangbild für ± 10 Schritte kontrolliert üben Push off ohne Krallen Calf raises mit KG Flex</p>
14.01	<p><u>C/O:</u> Schmerzen ++, bei richtig laufen &+ Schwellung → v.a. lateral, Wade Ermüdung Ganzer Tag auf Beinen. Nachts besser Schafft 20 hinkfreie Schritte</p> <p><u>Behandlung:</u> MTT ET: leg press / ADD / ABD / seated calf raises / DE 15 mal Stab & calf raise standing</p>

21.1	<p><u>C/O:</u></p> <p>Zehenstand surrt, Muskelkater, Schmerz lat/ ventr. keine Laufen mit Turnschuhen gut</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>MTT: Bauch + 1 Bein Stab mit Airex WTT: lig. talo fib. Ant</p>
28.1	<p><u>C/O:</u></p> <p>Nicht so gut, Do Training + Fr Yoga → Rot → Sz haft + KG-Sz, Fibromyalgieschub ? Baum auf Mätteli geht Krieger → Sz Lateral besser, Schmerz auch ventral</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>Zehen-Wand: 11.5 cm // 12.5</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>WTT: lig. Talofib + ap Mobi in DE</p>
04.02	<p><u>C/O:</u></p> <p>Schnell laufen, möchte isolierter 1 Bein trainieren, schnell laufen immer noch krallen Heute Morgen Fuss übertreten an Strandeckel Baum auf Airex geht</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>WTT lig. talo-fib MTT angepasst: PF in KG Ext. Ca. 15 Pfund, Leg curls/ exz 1 beining, Gehen mit Zehenflex für Propulsion, Airex 1 beiniger Squat statt statisch</p>

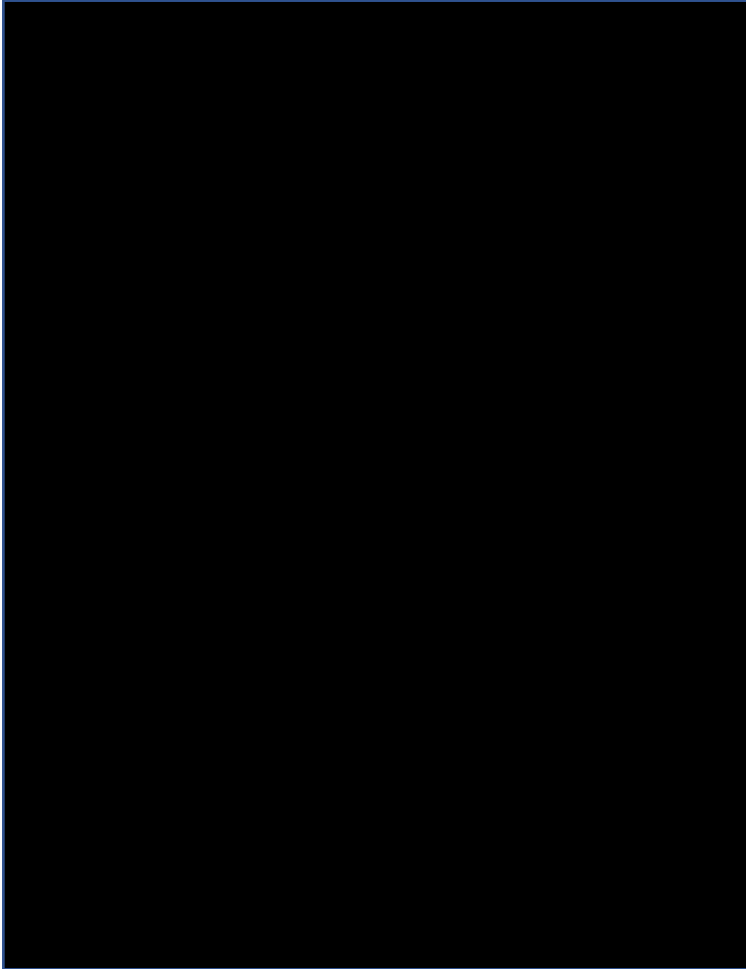
18.02	<p><u>C/O:</u></p> <p>2 Wo kein Training wegen Grippe</p> <p>Knie Schmerzen mit Training v.a. Treppensteigen um Patella; + Treppe abw Sz → Schmerz OSG ventral</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>DE 12.5 cm // 13.0</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>OSG Mobi + ap</p> <p>Check Knie → Tape kranial Patella + instr.</p>
18.03	<p><u>C/O:</u></p> <p>Geht gut mit Training, seit 1.5 Wo Zehengang möglich, Training 1-3x, aber auch zu Hause, Aktuell Rücken-Sz, Gleichgewicht ohne Konzentrieren Treppe abw. → ab & zu Schmerzen</p> <p><u>P/E:</u></p> <p>12.5 cm Zehe-Wand</p> <p><u>Behandlung:</u></p> <p>1 Bein Stand, unterstützt + Ball</p> <p>1 Bein Zehenstand</p>

D) Zelluläre Komponenten einer Sehne

Die Sehne besteht aus verschiedenen Komponenten wie Fibroblasten, Matrix (kollagene und elastische Fasern), Grundsubstanz (Proteoglycane, Glycosaminioglycane) und nicht-kollagenen Proteinen (van den Berg & Cabri, 2003). Hauptzellen der Sehne sind die Fibroblasten (spezialisierte Tendozyten), die von den mesenchymalen Stammzellen abstammen (van den Berg & Cabri, 2003). Wie in Abbildung 20 dargestellt, werden die Bestandteile der Sehne von den Fibroblasten hergestellt. Um dies zu gewährleisten verfügen sie über ein grosses Arsenal von zellulären Produktionswerken, wie Mitochondrien, endoplasmatischem Retikulum und Ribosomen (van den Berg & Cabri, 2003).

Die Grundsubstanz wird vorwiegend aus Dermatsulfat mit wenigen Anteilen Hyaluronsäure und Chondrotinsulfat gebildet (van den Berg & Cabri, 2003). Sehnen die unter vermehrtem Zug stehen, bilden weniger Proteoglycane und Glycosaminoglycane, wie diejenigen die Druck- und Reibungen ausgesetzt sind (van den Berg & Cabri, 2003). Trotz der geringen Menge an Trockengewicht der Sehnen (0.5-1%), kann durch die Grundsubstanz viel Wasser (65-70% der Sehne) gebunden werden und ermöglicht somit reibungsfreie Bewegung (van den Berg & Cabri, 2003). Nicht-kollagene Proteine sind Fibronectin, Tenascin und Verbindungsproteine (van den Berg & Cabri, 2003). Diese Moleküle verbinden verschiedene Komponenten des Bindegewebes untereinander und erhöhen somit die Stabilität (van den Berg & Cabri, 2003). So koppeln die Verbindungsproteine die zentralen Eiweissketten mit den Hyaluronsäureketten und das Fibronectin im Paratenon sorgt mit der Hyaluronsäure für eine gute Gleitschicht (van den Berg & Cabri, 2003).

Abbildung 20: Schematische Darstellung eines Tendozyten mit von ihm produzierten Substanzen (van den Berg, 2011)



E) Detaillierte Beschreibung der intrinsischen und extrinsischen Wundheilung einer Sehne

Van den Berg und Cabri (2003) beschreiben den extrinsische Heilungsverlauf in die drei bekannten Wundheilungsphasen:

- **Entzündungsphase (3-5 Tage):** Die durch akute Verletzung eingeleitete Entzündungsphase ist äusserlich meist durch ein Hämatom sichtbar. Durch die Verletzung werden zelluläre Botenstoffen vom Gewebe ausgeschüttet, die wiederum verschiedenen Entzündungszellen, wie Mastzellen, Makrophagen oder Leukozyten anlocken um im Verletzungsgebiet zerstörte Zellen abzubauen, die Gerinnung einzuleiten und die Wunde provisorisch zu schliessen. Dies geschieht vorwiegend im umliegenden Gewebe und Epi- und Endotenum der Sehne (van den Berg & Cabri, 2003).
- **Proliferationsphase (ca. 4 Wochen):** Durch das Einwandern von Fibroblasten aus dem umgebenden Gewebe, dem Endo- und dem Epitenon in das Wundgebiet beginnt die Produktion retikulärer Fasern aus Kollagen Typ III. Ihre Produktion ist in den ersten Wochen sehr hoch und zeigt sich besonders im Endotenum. Sie unterliegt einem gesteigerten Auf- und Abbauprozess dieser Fasern, deren Organisation und Ausrichtung sich auf die physiologische Belastung der Sehne stützt. Dennoch ist äusserste Vorsicht bei der Belastung geboten, da das Gewebe noch sehr empfindlich und verletzungsabhängig ist (van den Berg & Cabri, 2003).
- **Remodellierungsphase (ca. 3 Wochen):** In dieser letzten Phase der Wundheilung wird Kollagen Typ III in Kollagen Typ I umgewandelt (van den Berg & Cabri, 2003).

Der intrinsische Heilungsverlauf unterscheidet sich nach van den Berg und Cabri (2003) in folgenden Punkten von dem extrinsischen Verlauf:

- **Entzündungsphase:** In der Regel kommt es nicht zur Verletzung von Blutgefässen (Steverding, 2007). Somit werden kaum oder gar keine Entzündungsmediatoren freigesetzt und die Wundheilung ist verlängert (van den Berg & Cabri, 2003).
- **Proliferationsphase (9-12 Wochen):** Eine erhöhte Proliferation des Epitenon manifestiert sich. Fibroblasten wandern vorwiegend aus dem Epitenon zu der Verletzung. Das verletzte Gebiet wird innerhalb von etwa 6 Wochen durch das Epitenon überbrückt. Nun steigert auch das Endotendon seine Aktivität mit einem

Höhepunkt zwischen der 6. und 12. Woche nach dem Gewebeschaden und die Wunde wird von Fibroblasten mit Kollagen Typ III aufgefüllt. Somit wird zwischen der 9. und 12. Wochen ein Wundschluss erreicht (van den Berg & Cabri, 2003; Steverding, 2007).

- **Remodellierungsphase (ab 9. bis 12. Woche):** In dieser Phase findet der Primäre Umbau von Kollagen Typ III in Kollagen Typ I statt, wobei die Ausrichtung und Organisation der Fasern von der applizierten Belastung abhängt. Somit kann die Narbenbildung geringgehalten und die mechanische Belastbarkeit verbessert werden (van den Berg & Cabri, 2003).